

Ю. А. Смирнов, А. В. Муханов

ЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ





• САНКТ-ПЕТЕРБУРГ •
• МОСКВА •
• КРАСНОДАР •
• 2012 •

**Ю. А. СМИРНОВ
А. В. МУХАНОВ**

ЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



**•САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • МОСКВА • КРАСНОДАР •
2012**

ББК 39.33я73

С 50

Смирнов Ю. А., Муханов А. В.

С 50 Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилей: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2012. — 624 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 978-5-8114-1167-2

Приведены общие принципы управления, а также построения систем управления техническими объектами отечественных и зарубежных автомобилей, электронная и микропроцессорная реализация этих систем. Рассмотрено диагностическое оборудование электронных блоков управления автомобилем.

Учебное пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника» профиля «Электрооборудование автомобилей и тракторов» и направлению подготовки «Агроинженерия» профиля «Технология обслуживания и ремонта машин в агропромышленном комплексе».

ББК 39.33я73

Рецензенты:

С. В. СОКОЛОВ — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой систем передачи и обработки информации СКФ Московского технического университета связи и информатики; *Ю. А. ЦАРЕВ* — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологического сервиса машин Института энергетики и машиностроения ДГТУ.

Обложка
E. A. ВЛАСОВА

*Охраняется Законом РФ об авторском праве.
Воспроизведение всей книги или любой ее части
запрещается без письменного разрешения издателя.
Любые попытки нарушения закона
будут преследоваться в судебном порядке.*

© Издательство «Лань», 2012
© Ю. А. Смирнов, А. В. Муханов, 2012
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2012

ОТ АВТОРОВ

К числу важнейших факторов, определяющих технический уровень современных автомобилей, относится степень их оснащенности электронными устройствами. Поэтому разработка электронных систем управления агрегатами автомобилей является весьма актуальной задачей для отечественного автомобилестроения.

В настоящее время накоплен значительный опыт применения электронной аппаратуры в автомобилях. Использование этого опыта является важным условием ускорения разработок новых, более совершенных электронных устройств.

В отличие от начального периода развития автомобильной электроники, для современного характерно наличие следующих четырех направлений:

- создание электронных устройств для замены ими традиционных узлов автомобильного электрооборудования (регуляторы напряжения, управление световой и звуковой сигнализацией, регуляторы систем отопления, кондиционирования, подогрева двигателя, тахометры, спидометры и т. д.);
- применение электронных устройств (в том числе с использованием ЭВМ) для непрерывного контроля и выдачи текущей информации об эксплуатационных показателях автомобиля (например, текущий расход топлива, целесообразность включения той или иной передачи, оптимальный режим движения и т. д.); к этой категории устройств следует отнести и системы диагностирования состояния агрегатов автомобиля;
- разработка электронной аппаратуры управления зажиганием, топливоподачей и системами, обеспечивающими снижение токсичности отработавших газов двигателя;

- создание электронных устройств для систем управления агрегатами трансмиссии, тормозными системами и другими узлами автомобиля (за исключением двигателя).

Применение электронной аппаратуры в системах управления агрегатами автомобиля в ряде случаев повлекло за собой целесообразность изменения конструкции самих агрегатов. Поэтому современная автомобильная электронная система управления фактически является комплексом собственно электронной аппаратуры и управляемых ею исполнительных устройств.

Электронные системы управления, создаваемые на базе дискретных элементов и интегральных микросхем, выполняющих какую-либо определенную задачу управления, относятся к системам с жесткой логикой, алгоритм их функционирования определяется схемотехникой системы. У микропроцессорных систем такое ограничение отсутствует, т. е. при одной и той же структуре данные системы могут реализовывать различные алгоритмы управления вследствие соответствующего изменения записи команд в элементах памяти системы. Благодаря этому микропроцессорные системы образуют особый класс электронных систем управления и обладают рядом уникальных возможностей с точки зрения реализации самых сложных задач управления.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ

В первых автомобилях все электрооборудование состояло из системы зажигания. Например, в автомобиле Карла Бенца (см. рис. 1) в качестве системы зажигания использовалось электрическое зажигание, основанное на применении батарей и индуктивной катушки.

Потом появились такие усовершенствования, как фары, стартер и другое электрооборудование. Применение в автомобиле собственно электроники началось в 1930-х гг. с ламповых автомобильных радиоприемников. Однако электронные лампы плохо переносили вибрацию, для их размещения требовалось много места, они потребляли много электроэнергии и, будучи по существу непригодными для такого использования, не нашли широкого распространения в автомобилях.

В 1948 г. был изобретен транзистор, а в 1958 г. появились интегральные схемы (ИС), однако по сравнению с другими областями их применение в автомобилях задержалось и началось только в 1960 г.

Первыми полупроводниковыми приборами, нашедшими применение в автомобильной технике, стали кремниевые диоды, используемые в качестве выпрямителей напряжения генераторов переменного тока. Затем в регуляторе напряжения и системе зажигания вместо электрических контактов стали использовать мощные транзисторы (см. рис. 2), что дало значительное улучшение параметров и надежности автомобиля.

После 1967 г. в автомобилях стали применяться ИС. Быстрыми темпами пошла электронизация электрооборудования двигателя, появились регуляторы напряжения на ИС (см. рис. 3), системы зажигания на ИС и т. д. Примерно в то же время на рынке появились устройства впрыска топлива, управления трансмиссией (см. рис. 4), тормозами, а также

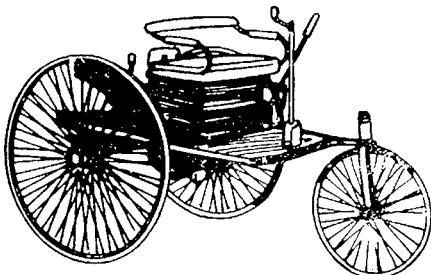


Рис. 1
Первый автомобиль (Benz)

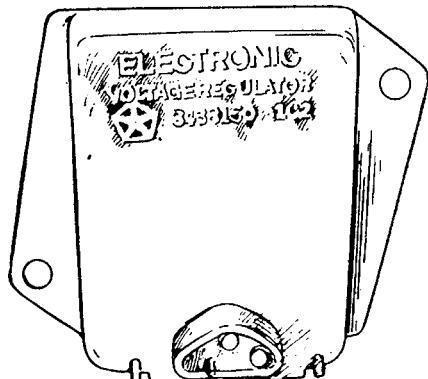


Рис. 2
Транзисторный регулятор напряжения
(Chrysler)

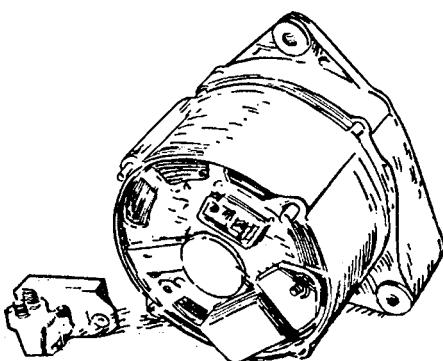


Рис. 3
Генератор переменного тока
с регулятором напряжения на ИС (Bosch)

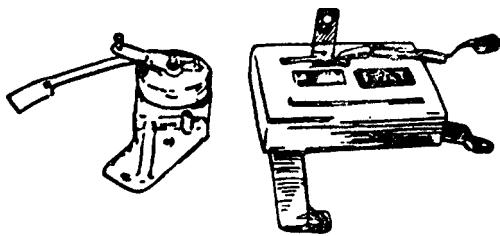


Рис. 4
Основные блоки первых устройств
управления трансмиссией: слева —
позиционный выключатель, справа —
электронный блок управления

устройства поддержания заданной скорости автомобиля и другие, в которых использовались аналоговые схемы.

В автомобили стали устанавливать электронные блоки управления (ЭБУ), однако из-за высокой стоимости они не нашли широкого распространения. В 1970-х гг. благодаря трем важным законодательным актам, которые впервые были приняты в США, электронизация автомобиля ускорилась. Так, в соответствии с правилами обеспечения безопасности стала обязательной система, препятствующая запуску двигателя, если на водителе и пассажирах не пристегнуты ремни безопасности. Поскольку при реализации этой функции для питания электронной системы необходима энергия и при выключенном зажигании, возникала задача снижения потребляемого тока аккумуляторной батареи, которая была решена путем применения КМОП (комплементарные металл-окисел-полупроводники) логических ИС.

МикроЭВМ была изобретена в 1972 г., но только в 1976 г. была впервые применена в автомобиле для управления углом опережения зажигания (General Motors разработал систему, называемую Mizar). Благодаря высокой точности управления стало возможным значительное улучшение показателей двигателя.

Использование микроЭВМ в управлении резко увеличилось в связи с введением со второй половины 1970-х гг. ограничений на состав отработавших газов и расход горючего. Первые же попытки очищать отработавшие газы привели к увеличению расхода горючего и ухудшению характеристик двигателя. Удовлетворить же обоим требованиям одновременно оказалось сложной задачей.

Для того чтобы совместить экономичность и низкое содержание вредных примесей в отработавших газах, необходимо кроме совершенствования конструкции двигателя обеспечить:

- управление углом опережения зажигания;
- соотношение воздуха и горючего в горючей смеси;
- автоматическую поддержку низкой частоты вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу и т. д.

Все это стало возможным с введением комплексной цифровой системы управления двигателем, в которой эти функции одновременно осуществляют микроЭВМ.

Для 1980-х гг. характерна общая тенденция применения новейшей технологии, в том числе и из-за многообразия требований пользователя. В связи с этим возникла необходимость повышения потребительской ценности автомобиля, и, как результат, появились автомобили, в которых применялись микроЭВМ и связанные с ними электронные приборные панели (рис. 5), системы управления подвеской, автоматические кондиционеры воздуха, радиоприемники с электронной настройкой, многофункциональные информационные системы с дисплеями на электронно-лучевых трубках и т. д.

В результате быстрого совершенствования параметров полупроводниковых устройств, являющихся составными частями микроЭВМ, вполне

Рис. 5
Электронная приборная панель (Toyota):

1 — двухфункциональный указатель ежедневного пробега; 2 — указатель включенной передачи; 3 — контролльный переключатель указателя ежедневного пробега; 4 — индикатор включения ускоряющей передачи; 5 — цифровой люминесцентный индикатор спидометра; 6 — индикатор TEMS; 7 — индикатор EST-S pattern; 8 — контрольные индикаторы; 9 — люминесцентный указатель количества топлива в баке зонного типа; 10 — тахометр с полосковым указателем; 11 — контрольные индикаторы; 12 — люминесцентный указатель температуры охлаждающей жидкости зонного типа.

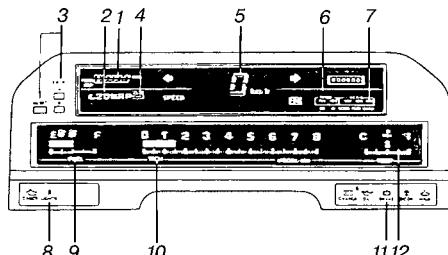
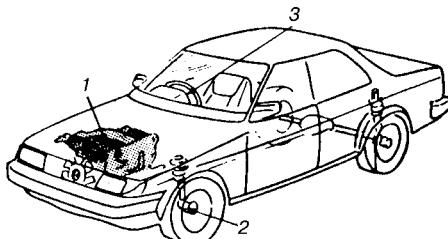


Рис. 6
Классификация автомобильных
электронных систем:

1 — управление силовым агрегатом; управление двигателем; управление трансмиссией; 2 — управление ходовой частью; управление подвеской; стабилизация заданной скорости движения; регулирование рулевого управления; блокирование колес при торможении; 3 — управление оборудованием салона: кондиционирование воздуха; электронная панель приборов; многофункциональная информационная система; навигационная система и т. д.



достигимыми стали высокая надежность, низкая себестоимость и малые размеры системы автомобильной электроники.

Охарактеризуем состояние автомобильной электроники в Японии и за рубежом в 1990-е гг. При этом, классифицируя автомобильные электронные системы, разделим их на три группы (см. рис. 6).

УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕМ И ТРАНСМИССИЕЙ

Управление двигателем и трансмиссией объединяет управление системой впрыска топлива или карбюратором, углом опережения зажигания, частотой холостого хода, трансмиссией (системой передачи энергии), прочими системами двигателя, а также контроль детонации.

Комплексная система управления бензиновым двигателем, пример которой приведен на рис. 7, обеспечивает оптимальную работу двигателя путем управления впрыском топлива, углом опережения зажигания, частотой вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу и проведением диагностики.

На рисунке показана система распределенного впрыска, в которой форсунки установлены непосредственно перед каждым цилиндром. Управление карбюратором сводится к прецизионному регулированию состава горючей смеси. В результате повышается мощность, становятся чище отработавшие газы, улучшаются другие характеристики двигателя.

В Японии во многих автомобилях с двигателем рабочим объемом более 2 л, а также в мощных автомобилях применяется комплексная электронная система управления двигателем с впрыском топлива. Кроме того, многие автомобили с двигателем меньшего объема имеют электронную систему управления карбюратором. В США широко распространена комплексная система управления, в которой за основу принят метод центрального впрыска топлива, используемый, в частности, в моделях С3 фирмы General Motors и ЕЕС-IV фирмы Ford. Поскольку в Европе требования на экономичность и чистоту отработавших газов не так жестки, как в Японии или в США, комплексная система управления не получила там широкого распространения. Однако ожидается, что по мере ужесточения этих требований электронное управление будет развиваться и здесь.

Электронные системы управления дизельными двигателями совершились медленнее, чем бензиновыми, так как по сравнению с традиционной системой управления (где использовался механический центробежный регулятор) необходимость применения датчиков и исполнительных устройств сложной конструкции значительно удорожала всю систему. Однако после энергетического кризиса увеличился спрос на дизельные двигатели. В Японии стали применяться главным образом дизельные двигатели, параметры которых (дымность отработавших газов, шумность и уровень вибрации и т. д.) были существенно улучшены благодаря электронному управлению. Но поскольку впоследствии цены на топливо стабилизировались (и по ряду других причин), степень электронизации дизельных двигателей осталась ниже, чем у бензиновых, а в Европе по-прежнему в основном используются механические системы управления дизельными двигателями.

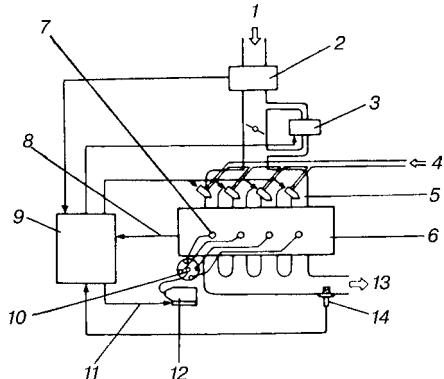


Рис. 7
Комплексная электронная система
управления бензиновым двигателем:

1 — воздух; 2 — датчик расхода воздуха; 3 — исполнительное устройство управления частотой вращения коленчатого вала на холостом ходу; 4 — топливо; 5 — форсунка впрыска топлива; 6 — двигатель; 7 — свечи зажигания; 8 — частота вращения коленчатого вала двигателя; 9 — ЭБУ; 10 — распределитель зажигания; 11 — выходной сигнал; 12 — катушка зажигания (КЗ); 13 — отработавшие газы; 14 — датчик кислорода.

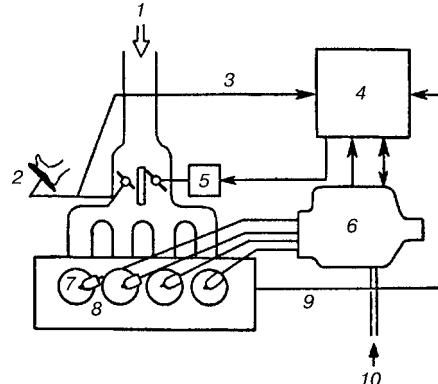
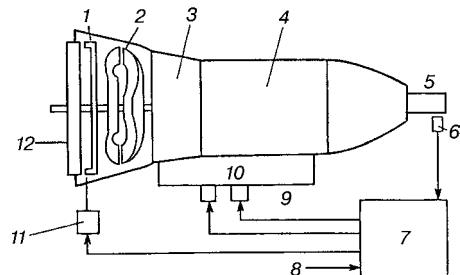


Рис. 8
Комплексная электронная система
управления дизельным двигателем:

1 — воздух; 2 — датчик открытия дроссельной заслонки; 3 — степень открытия дроссельной заслонки; 4 — ЭБУ; 5 — исполнительное устройство; 6 — топливный насос высокого давления; 7 — форсунка впрыска топлива; 8 — двигатель; 9 — частота вращения коленчатого вала двигателя; 10 — топливо.

Рис. 9

Пример системы управления трансмиссией:
1 — сцепление; 2 — диски сцепления; 3 — механизм ускоряющей передачи; 4 — механизм изменения передаточного числа; 5 — выходной вал; 6 — датчик скорости автомобиля; 7 — ЭБУ; 8 — угол открытия дроссельной заслонки; 9 — электромагнитный клапан изменения передаточного числа; 10 — гидравлическая система; 11 — электромагнитный клапан сцепления; 12 — маховик двигателя.



Система электронного управления дизельным двигателем контролирует количество впрыскиваемого горючего, момент начала впрыска, ток факельной свечи и т. п. На рис. 8 представлена система управления топливным насосом высокого давления, переделанная из механической в электронную.

На этом примере видно, что поскольку насос работает на принципах механики, данная система существенно отличается от электронной системы впрыска бензинового двигателя.

В электронной системе управления трансмиссией объектом регулирования является главным образом автоматическая трансмиссия. При этом микроЭВМ на основании сигналов датчиков угла открытия дроссельной заслонки и скорости автомобиля выбирает оптимальное передаточное число передачи и время включения сцепления. Кроме того, система, посылая в ЭБУ двигателя необходимые сигналы, может обеспечивать смягчение ударов и толчков, возникающих при переключении передач и срабатывании сцепления. На рис. 9 представлен пример такой системы.

Электронная система управления трансмиссией по сравнению с применявшейся ранее гидромеханической системой повышает точность регулирования передаточного числа, дает большие возможности при проектировании, а также позволяет упростить механизм управления, повысить экономичность, управляемость и другие параметры автомобиля. Поэтому ЭБУ трансмиссией начинают применяться не только в автомобилях высшего класса, но и в серийных моделях. Комплексные системы, которые управляют как двигателем, так и трансмиссией, сейчас распространены и в Японии, и в Европе.

УПРАВЛЕНИЕ ХОДОВОЙ ЧАСТЬЮ

Под управлением ходовой частью понимается управление процессами движения, изменения траектории и торможения автомобиля. Электронные системы улучшают управляемость, устойчивость и комфортабельность автомобиля, выполняя управление подвеской, колесами, тормозами, поддержание заданной скорости движения и т. п.

Управление подвеской обеспечивает ее оптимальную работу при различных скоростях и массе груза автомобиля.

Управление высотой кузова относительно дороги обеспечивает постоянство этого параметра независимо от загрузки автомобиля. Уменьшение высоты кузова при движении с высокой скоростью приводит к снижению аэродинамических потерь и повышению устойчивости автомобиля на дороге. Системы с ручным заданием высоты применялись и ранее на автомобилях Citroen и др. Использование электронной системы управления автоматически обеспечивает оптимальную высоту кузова над дорогой. Сигналы от датчиков высоты кузова и скорости поступают на вход ЭБУ, выходной сигнал из которого подается в исполнительный механизм, который обычно представляет собой диафрагму, перемещающуюся под действием сжатого воздуха, подаваемого насосом.

Управление упругими элементами подвески и демпфированием амортизаторов повышает устойчивость автомобиля и препятствует изменениям положения кузова при резких поворотах, ускорениях и торможениях. С одной стороны, для повышения комфортабельности движения подвеска должна быть мягкой, но с другой — для лучшей устойчивости она, напротив, должна быть достаточно жесткой. Поэтому ЭБУ, получая на вход сигналы от датчиков скорости, угла поворота рулевого колеса, угла открытия дроссельной

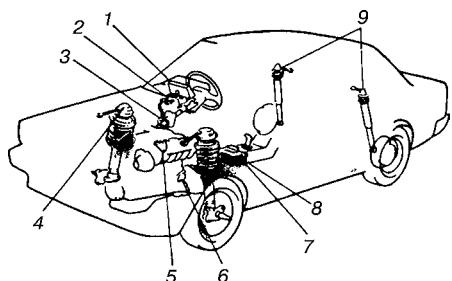


Рис. 10
Система управления
демпфированием амортизаторов:

1 — индикаторная лампа, управляемая сигналом с датчика скорости; 2 — датчик включения стоп-сигнала; 3 — датчик угла поворота рулевого колеса; 4 — исполнительные устройства амортизаторов передних колес; 5 — датчик угла открытия дроссельной заслонки; 6 — переключатель коробки передач; 7 — переключатель режимов работы подвески; 8 — ЭБУ; 9 — исполнительные устройства амортизаторов задних колес.

заслонки, а также от концевого переключателя педали тормоза, управляет исполнительными устройствами, которые соответственно изменяют параметры упругих элементов подвески и амортизаторов каждого из колес. Обычно это осуществляется с помощью электромагнитных клапанов или малогабаритных электродвигателей, которые изменяют сечения отверстий в пневматических упругих элементах, изменяя тем самым их упругость, или в гидравлических амортизаторах, варьируя их демпфирование. На рис. 10 показана схема такой системы.

Системы управления подвеской в Японии начали особенно широко применяться в 1980-е гг., в США — несколько позже и только частью компаний, в Европе же такие системы пока почти не используют.

ЭБУ в рулевом управлении регулирует усилие на рулевом колесе (при наличии гидроусилителя) или поворот четырех колес и т. п. Управление усилием сводится к его уменьшению, когда автомобиль стоит или движется с малой скоростью, и, наоборот, к его увеличению при больших скоростях, что обеспечивает курсовую устойчивость и управляемость. Возможно также изменение усилия на руле по желанию водителя.

С начала 1980-х гг. автомобильные компании Японии стали применять системы управления, состоящие из ЭБУ, датчиков скорости и угла поворота рулевого колеса, переключателя режимов работы рулевого управления, а также гидроцилиндра с электромагнитным клапаном, используемого в качестве исполнительного устройства.

Система управления тормозами главным образом предотвращает блокирование колес при торможении, тем самым обеспечивая повышение устойчивости автомобиля при торможении. Такая система называется антиблокировочной. Состояние блокирования колеса можно определить, сравнивая поступательную скорость автомобиля и угловую скорость колеса. Но так как скорость автомобиля определить трудно из-за проскальзывания колес, вместо нее в качестве базовой обычно используется расчетная средняя скорость колес.

На основании сигналов датчиков скорости вращения колес ЭБУ выявляет состояние блокирования какого-либо колеса и посыпает сигнал исполнительному устройству, которое снижает давление тормозной жидкости в тормозном цилиндре данного колеса. Как только скорость колеса увеличится, давление тормозной жидкости снова возрастает и процесс повторяется.

Контроль проскальзывания колес при торможении применяется с 1968 г. Вначале предотвращалось блокирование только двух задних колес автомобиля, но в последние годы в связи с использованием микроЭВМ в основном применяются системы управления тормозами всех четырех колес. При этом, поскольку предотвращается блокирование и передних (управляемых) колес, повышается не только устойчивость к заносам, но и управляемость автомобиля.

Еще одним преимуществом системы управления тормозами является наличие устройства, поддерживающего постоянным давление тормозной жидкости при торможении, после остановки (до начала движения), что удобно на уклонах и т. п.

Система поддержания заданной скорости движения управляет дроссельной заслонкой, обрабатывая сигналы датчика скорости, выключателя и указателя режима, а также исполнительным устройством, связанным с дроссельной заслонкой. В исполнительных устройствах используются вакуумный привод, малогабаритные электродвигатели и т. п.

УПРАВЛЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЕМ САЛОНА И КУЗОВА

Системы управления оборудованием салона и кузова призваны повысить комфортабельность и потребительскую ценность автомобиля. В зависимости от класса автомобиля используются такие устройства с электронным управлением, как кондиционер воздуха, панель приборов, мультифункциональная информационная система на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), компас, фары, стеклоочиститель с прерывистым режимом работы, индикатор перегоревших ламп, устройство обнаружения препятствий при движении задним ходом, противоугонные устройства, аппаратура связи, централизованная блокировка замков дверей, стеклоподъемники, сиденья с изменяемым положением, ремни безопасности и т. д. Все они обеспечивают автоматизацию работы водителя, повышая удобство автотранспортного средства и уменьшая трудности управления им. На рис. 11 показана электронная панель приборов с дисплеем на ЭЛТ.

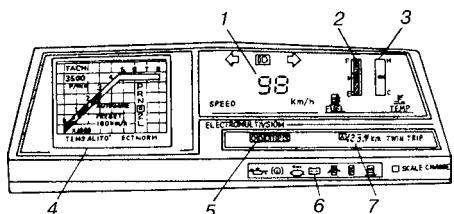


Рис. 11
Электронная панель приборов
с дисплеем на ЭЛТ (Toyota):

1 — спидометр; 2 — указатель количества топлива в баке; 3 — указатель температуры охлаждающей жидкости; 4 — дисплей на ЭЛТ; 5 — указатель пробега; 6 — сигнальные лампы предупреждений; 7 — указатель ежедневного пробега.

В дальнейшем по мере снижения себестоимости ожидается быстрое развитие разновидностей систем управления оборудования салона и кузова, разработка изделий с новыми функциями и высокой потребительской ценностью.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАТРОНИКИ, МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ И МИКРОПРОГРАММНЫХ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ И АГРЕГАТАМИ АВТОМОБИЛЕЙ

Применение электронных систем привело к возникновению новой области техники — автомобильной электроники. В иностранной и отечественной литературе в качестве синонима автомобильной электроники используются также термины «мехатроника», «микроэлектромеханика» (объединение слов «механика» и «электроника») или «автоника» (объединение слов «автомобильная электроника»).

Одним из перспективных направлений мехатроники в автомобилестроении является использование пьезокерамики.

Несмотря на то что пьезоэффект был открыт еще в XIX в., а со второй половины XX в. активно развивалась теория и технология создания пьезоэлектрических материалов, считается, что пьезокерамика — один из перспективных материалов XXI в., так как замечательные свойства, присущие пьезокерамике, до сих пор не в полной мере востребованы наукой, техникой и технологиями.

Активное использование пьезокерамики в различных областях началось в 1960–1970 гг. Достаточно хорошо были изучены и использованы свойства пьезокерамических датчиков и преобразователей. В настоящее время пьезокерамика широко применяется для ультразвуковой диагностики в медицине, на авиационном и железнодорожном транспорте, в энергетике, нефтегазовом комплексе; силовая пьезокерамика — в ультразвуковой сварке, чистке поверхностей, нанесении покрытий, сверлении и т. д. В то же время пьезокерамика еще недостаточно используется для создания генераторов, актиоаторов и в комбинированных системах. Однако современные требования по энергосбережению, миниатюризации, адаптивности к компьютерным системам управления и контроля все чаще заставляют производителей техники и оборудования обращаться к производителям пьезокерамики с целью совместного поиска тех или иных технологических решений. В результате появляются новые типы пьезокерамики, создаются новые и совершенствуются известные пьезокерамические элементы и компоненты. Особое внимание в настоящее время уделяется пьезокерамическим трансформаторам и актиоаторам.

Пьезотрансформаторы. Одним из направлений является их использование в бытовых и производственных газонаполненных осветительных приборах в качестве резонансных конверторов. В основу перспективных осветительных приборов уже заложены принципы, позволяющие экономить до 80% электроэнергии по сравнению с ныне используемыми, поэтому единственный параметр, которому должны отвечать перспективные конверторы, — минимальные геометрические размеры, позволяющие устанавливать их в цоколе лампы.

Последние исследования показали целесообразность использования многослойных пьезокерамических трансформаторов в новой осветительной технике. Были разработаны прототипы таких конверторов, удовлетворяющие практически всем требованиям, кроме цены. Поэтому производители пьезокерамики активно работают над технологией, которая позволила бы добиться снижения себестоимости.

Не менее перспективно применение пьезотрансформаторов в силовых устройствах. На рынке появились современные устройства, которые используют не традиционные однослойные пьезотрансформаторы, а многослойные трансформаторы. Примерами этого могут служить дисплеи обратного свечения на жидких кристаллах и системы управления холодным катодом флуоресцентного освещения. Среди достоинств многослойных пьезотрансформаторов по сравнению с традиционными можно отметить их малый размер (особенно толщина) и меньшее потребление энергии. Однако для современных многослойных трансформаторов, которые появились на рынке, определяющими

факторами по-прежнему являются цена и размеры, над снижением которых активно работают производители.

Существует большая вероятность использования пьезотрансформаторов в перспективных телевизионных и компьютерных дисплеях. Уже существуют прототипы таких дисплеев — ПЭД (полевые эмиссионные дисплеи) — плоские панельные дисплеи, имеющие более высокую разрешающую способность и четкость изображения. Однако уже сейчас разрабатывается новое поколение экранов с немерцающим изображением, для питания которых также предусматривается использование многослойных пьезокерамических трансформаторов.

Актуаторы условно подразделяются на мощные (пакетные) и маломощные, к которым относятся гибкие (биморфы и ленточные) и осевые, изготовленные по технологии многослойной пьезокерамики.

Пакетные актуаторы уже сейчас используются в космической, лазерной технике и оптических инструментах для настройки антенн и зеркал с манометрической точностью. Считается, что они найдут широкое применение там, где важно развить движущее усилие при минимальном угле перемещения.

Одним из перспективных направлений является их применение в точной настройке станков. Благодаря своей жесткой структуре пьезоприводы являются идеальным инструментом для быстрой и точной их настройки. Прилагая фиксированное напряжение к шаблону в фазе с вращением шпинделя, можно обеспечить высокую точность обработки детали рабочим телом станка.

В станкостроении планируется их использование и для подавления (компенсации) вибрации. Нежелательную вибрацию станков можно компенсировать с помощью многослойных актуаторов, работающих в противофазе с вибрационными колебаниями. Это, в свою очередь, будет способствовать повышению качества конечного изделия, а также позволит избежать чрезмерного износа инструмента и существенно снизить уровень шума станка. Компенсаторы вибрации могут найти применение не только в станкостроении, но и в других сферах.

Еще одним перспективным направлением использования пакетных актуаторов является управление гидравлическими клапанами. Примером этого могут служить последние разработки пьезокерамических высокоскоростных клапанов как для топливной аппаратуры дизельных двигателей легковых и грузовых автомобилей, так и для газораспределительных систем дизелей и двигателей внутреннего сгорания.

Гибкие актуаторы используются в пьезоэлектрических датчиках изгибающего момента электронных систем для слепых, читающих по методу Брайля, а также в качестве электронных переключателей.

Создание ленточных актуаторов существенно расширило их использование. Изначально ленточный актуатор был разработан по запросу текстильной промышленности для компьютерных систем подачи нитей в жаккардовых машинах. Благодаря высокой чувствительности, относительно большой блокирующей силе и величине отклонения новые пьезоэлементы позволяют использовать их в качестве сенсорных выключателей и контакторов, пьезоприводов, бесшумных успокоителей в электронном оборудовании, микропроцессорах, закрывающих и открывающих клапанов различного назначения, в том числе для программируемой дозированной подачи лекарств, вакуумных клапанов и т. п.

Весьма перспективным считается использование в микроэлектронике осевых актиоаторов, разработанных на основе последних достижений в технологии многослойной композитной пьезокерамики. Размеры актиоаторов составляют от единиц до десятых долей мм.

Примером комплексного использования пьезокерамических элементов, узлов и деталей на их основе могут служить совместные разработки американской компании APC International Ltd с производителями комплектующих для автомобильной промышленности.

Современные, технически сложные автомобили постоянно требуют внедрения дополнительной электроники для повышения надежности, безопасности и комфорта.

В настоящее время американские производители автомобильной техники активно используют устройства и узлы на базе пьезоэлектрической керамики. Примерами таких устройств могут служить:

- актиоаторы-клапаны впрыска топлива;
- актиоаторы-клапаны для газораспределительной системы двигателя;
- датчики поворота для определения угла положения дроссельной заслонки;
- датчики детонации;
- датчики уровня заправочных жидкостей;
- датчики давления для измерения давления в топливном баке с целью определения утечки топлива;
- пьезоприводы зеркал;
- пьезоприводы регулировки сидений;
- передние ультразвуковые дистанционные датчики (датчики предотвращения столкновений);
- боковые дистанционные датчики;
- задние (парковочные) ультразвуковые дистанционные датчики;
- датчики системы сигнализации и зуммеры оповещения;
- скоростные сенсоры в передней панели для подушек безопасности;
- боковые ударные сенсоры подушек безопасности;
- аварийные датчики-сенсоры подушек безопасности;
- актиоаторы системы антиблокировки тормозов;
- пьезоприводы системы подвески;
- датчики угловой скорости и линейные акселерометры малых перегрузок, ориентированные по трем осям автомобиля, предназначенные для автоматизированного управления маршрутом;
- пьезоприводы регулировки фар;
- датчики и актиоаторы положения фар для обеспечения динамического регулирования луча света передних фар в зависимости от профиля дороги и изменения величины полезной нагрузки автомобиля;
- пьезоакустические системы адаптивного регулирования скорости автомобиля.

Эффективность действия систем сигнализации, оповещающих зуммеров, биморфных и униморфных актиоаторов (пьезоприводов), пьезоприводов зеркал и систем регулировки положения сидений, подъемников стекол, управления клапанами двигателя и ударных датчиков подушек безопасности

улучшилась благодаря созданию и использованию в производстве новых пьезокерамических материалов со сверхмальми частицами.

Разработана также высокотемпературная и высокостабильная пьезоэлектрическая керамика, предназначенная для применения в топливных системах двигателей современных автомобилей. Весьма важным является то, что данная керамика обладает значительной стойкостью к высоким температурам и противоударна. Единообразная частотная реакция делает датчики из данной керамики пригодной для любого типа автомобильного двигателя.

Проблема улучшения экономических показателей и острая необходимость значительного уменьшения выбросов вредных веществ двигателями внутреннего сгорания, возникшие в последние десятилетия, заставили ведущие (и прежде всего автомобильные) фирмы активно вести разработку микропроцессорных систем управления (МПСУ) как наиболее эффективных для решения поставленных задач наряду с необходимостью улучшения рабочих процессов и нейтрализации отработавших газов двигателей. За это время в США, Европе и Японии неоднократно принимались правительственные решения, в несколько раз ужесточающие нормы на выбросы вредных веществ.

Что касается экономичности двигателей, вводятся нормы на выбросы CO₂ в качестве показателя расхода топлива.

Очевидно, что возможности совершенствования двигателей — как бензиновых, так и дизелей — далеко не исчерпаны. Улучшение их характеристик возможно за счет не только применения новых материалов и технологий, но и совершенствования систем автоматического управления ими.

Анализ состояния и тенденций развития двигателестроения показывает, что традиционные механические и гидромеханические управляющие системы исчерпали свои возможности и уже невозможно радикально усовершенствовать экономические, и в особенности экологические, характеристики двигателя. Простая замена всей механической или гидромеханической системы управления двигателем, а тем более только ее частей, электронными без внесения принципиальных изменений в конструкцию двигателя и прежде всего в системы, влияющие на рабочий процесс, не может значительно улучшить характеристики двигателя.

Сегодня управление двигателями требует обработки значительного объема информации по достаточно сложным алгоритмам. Это возможно только при использовании электронных цифровых систем управления, реализуемых главным образом на основе микропроцессорной техники.

Микропроцессорная система управления двигателем, безусловно, должна прежде всего качественно выполнять все функции существующих автоматических систем, в их числе:

- автоматическое регулирование частоты вращения, мощности, крутящего момента, цикловой подачи и фаз впрыскивания топлива, состава смеси и опережения зажигания, температуры в системах смазки и охлаждения;
- обеспечение пуска, разгона, торможения и остановки двигателя;
- контроль параметров (измерение и сигнализация о выходе за установленные пределы);
- аварийная защита и др.

МПСУ также может решать задачи, выполнение которых традиционными средствами ведет к существенному усложнению и снижению надежности силовой установки, например регулирование распределения нагрузки между параллельно работающими двигателями, осуществление дистанционного управления и др.

Однако главным назначением микропроцессорной системы управления является, конечно, решение задач, которые традиционные системы не в состоянии выполнить. МПСУ должна осуществлять оптимальное управление рабочим процессом в каждом цикле каждого цилиндра двигателя как на установленных, так и на неустановившихся режимах, обеспечивая в любой момент времени необходимые значения выходных параметров двигателя. Повышение качества выполнения только этих функций уже требует раздельного управления продолжительностью, давлением, опережением и ограничением впрыскивания топлива вместо обобщенного управления цикловой подачей, величиной угла опережения зажигания и др.

Очевидно, что при наличии микропроцессорных систем управления возможности совершенствования двигателей значительно расширяются. Так, улучшение характеристик двигателей происходит за счет обеспечения их работы на предельных значениях параметров рабочего процесса в широком диапазоне частот вращения вала двигателя и сохранения этих параметров в процессе длительной эксплуатации. Следует также иметь в виду эффект, который может быть получен благодаря автоматической коррекции алгоритма управления в зависимости от ряда возмущающих факторов, таких как тепловое состояние двигателя, атмосферные условия, качество топлива и др. Этот эффект в традиционных системах управления практически до сих пор не удавалось реализовать.

Первые серийные МПСУ появились в конце 1970-х гг.: МПСУ MISAR фирмы General Motors только с одной системой — опережение зажигания; МПСУ Motronic фирмы Bosch с большим количеством управляемых систем и др. С этого времени начинается быстрое внедрение МПСУ во всех странах с развитым автомобилестроением. Уже к 1982 г. объем рынка автомобильной электроники в США составил свыше 1,0 млрд долл. По прогнозу 1989 г. этот объем в 1990-м, 1995-м и 2000 гг. должен был составить соответственно для США — 11, 14 и 19 млрд долл., для Западной Европы — 7, 15 и 21, и для Японии — 11, 15 и 19 млрд долл. В действительности во всех указанных странах имел место больший объем этого рынка.

Ведущие автомобильные фирмы уже более 15 лет серийно выпускают продукцию, оснащенную МПСУ. В настоящее время автомобильную электронику производят как крупнейшие специализированные фирмы (Bosch, Siemens, Tomson, Toshiba, Texas Instruments и др.), так и специализированные дочерние предприятия, созданные автомобильными фирмами (Delko Electronics, Ford Elektronics, Renix и др.), а также фирмы, ранее выпускавшие карбюраторы и механические системы зажигания (Solex, Magneti Marelli и др.).

1.1. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ГЕНЕРАТОРА КАК ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Общие положения. Генераторные установки — источник электрической энергии в системах электроснабжения автомобилей. Они состоят из электрогенератора, выпрямителя, регулятора напряжения и аккумуляторной батареи. Электрогенератор является энергетическим преобразователем механической энергии двигателя внутреннего сгорания в электрическую. В основу работы электрогенератора положено двухпараметрическое физическое явление, определяемое законами электромагнитной индукции, — преобразование механической энергии вращательного движения ротора в магнитном поле, создаваемом током возбуждения, в электрическую энергию электрического тока.

Напряжение на выходе электрогенератора определяется по формуле

$$U_r = E_r - 2U_0 - ZI_r = C_e n \Phi - 2U_0 - ZI_r, \quad (1.1)$$

где E_r — ЭДС генератора; U_0 — падение напряжения на выпрямительном элементе; Z — полное сопротивление обмотки статора; I_r — ток генератора (среднее значение выпрямленного тока); C_e — конструктивный коэффициент электрической машины переменного тока; n — частота вращения ротора; Φ — магнитный поток.

Без учета остаточного магнитного потока полюсов ротора магнитный поток генератора можно представить в виде линеаризованной зависимости

$$\Phi = \frac{I_b}{a + bI_b}, \quad (1.2)$$

где I_b — ток возбуждения; a, b — постоянные коэффициенты аппроксимации кривой намагничивания, зависящие от конструкции генератора и применяемых магнитных материалов.

С учетом этой зависимости

$$U_r = \frac{C_e n I_b}{a + b I_b} - 2U_0 - ZI_r. \quad (1.3)$$

На основании (1.3) можно сделать вывод, что постоянства напряжения генератора при изменении частоты вращения ротора и тока нагрузки можно добиться изменением тока возбуждения. Повышение частоты вращения должно сопровождаться уменьшением тока возбуждения, а рост нагрузки — его увеличением.

Пренебрегая падением напряжения на выпрямительном элементе, с помощью уравнения (1.3) определим изменение силы тока возбуждения:

$$I_b = \frac{(U_r + ZI_r)a}{C_e n - (U_r + ZI_r)b}. \quad (1.4)$$

На основании выражения (1.4) можно создать программный регулятор напряжения.

Генераторная установка является системой автоматического регулирования (САР) напряжения и стабилизирует его на заданном уровне $U_z = \text{const}$ и в заданной точке при всех режимах работы. Объектом управления является электрогенератор, управляющей подсистемой — регулятор. Возмущающими воздействиями на САР являются: частота вращения ротора генератора, сила тока нагрузки и температура окружающей среды T . Все современные САР напряжения автомобилей в качестве регулирующего воздействия используют ток возбуждения генератора, который определяет магнитный поток генератора, а следовательно, и выходное напряжение.

На рис. 1.1 представлена структурная схема генератора как объекта регулирования: U_0 , Z , I_r , n , T — возмущающие воздействия; I_b — управляющее воздействие; U_r — регулируемая величина.

Входной величиной генератора можно считать угловое перемещение G_α , а выходной — ток нагрузки I_r .

Регулятор стабилизирует напряжение при изменении возмущающих воздействий путем воздействия на ток в обмотке возбуждения, которая выполняет функции элемента устройства воздействия на электрогенератор. Ток возбуждения можно менять путем введения в цепь обмотки переменного сопротивления (дресселирующего регулирующего органа). Для электрических САР такими переменными сопротивлениями являются переменные резисторы (потенциометры) и угольные столбики, сопротивление которых изменяется в широких пределах под действием силы, сжимающей угольный порошок. Эти устройства относятся к аналоговым элементам и имеют низкую надежность из-за подвижных контактов и механического привода. Электрические непрерывные регулирующие органы не нашли применения в САР напряжения автомобилей.

Первоначально применялись САР с использованием квантованных двухпозиционных сигналов

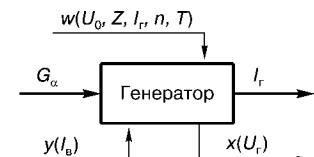


Рис. 1.1
Структурная схема генератора как объекта регулирования

непрерывного действия. В настоящее время в генераторных установках используются исключительно двухпозиционные САР напряжения и начинают распространяться САР напряжения с использованием широтно-импульсных сигналов дискретного действия.

Формирование управляющего воздействия. Низкие требования к качеству напряжения потребителей, интегрирующие свойства индукционного энергетического преобразователя и большая электрическая емкость аккумуляторной батареи позволили использовать двухпозиционное регулирование в САР напряжения электрической сети автомобиля. В таких САР ток возбуждения имеет два значения, которые определяются значениями коммутируемых сопротивлений R_1 и R_2 в цепи обмотки возбуждения:

$$R_1 = R_{\text{в}} + R_{\text{k(о)}}; R_2 = R_{\text{в}} + R_{\text{k(з)}}, \quad (1.5)$$

где $R_{\text{в}}$ — сопротивление обмотки возбуждения; $R_{\text{k(о)}}$ — сопротивление ключа, подключающего обмотку к источнику питания в открытом состоянии; $R_{\text{k(з)}}$ — сопротивление ключа, подключающего обмотку к источнику питания в закрытом состоянии.

При использовании электромеханических коммутирующих элементов (контактов реле) сопротивление ключа можно не учитывать, так как при разомкнутом контакте оно стремится к бесконечности, а при замкнутом — близко к нулю. Но полупроводниковые (транзисторные) ключи из-за конечных значений сопротивлений в открытом и закрытом состояниях оказывают существенное влияние на работу регуляторов напряжения. Такие регуляторы не обеспечивают высокого качества напряжения, поэтому при использовании в автомобиле современных микроэлектронных устройств приходится применять вторую, дополнительную, ступень регулирования напряжения с использованием САР напряжения.

В свое время широкое распространение получили двухпозиционные регуляторы с амплитудной модуляцией, выполненные с использованием электромеханических элементов. В них частота переключения сопротивлений в цепи обмотки возбуждения определяется отклонением тока возбуждения от требуемого значения. Для релейно-контактных систем частота переключений и число срабатываний контактов имеют первостепенную значимость. Чтобы уменьшить число переключений, необходимо ток возбуждения поддерживать в определенном интервале значений, близких к требуемому для данного режима работы генератора. Процесс автоматического регулирования напряжения в таких САР осуществляется включением последовательно с обмоткой возбуждения добавочного резистора $R_{\text{доб}}$. В обмотке возбуждения при этом устанавливаются автоколебания тока с амплитудой I_m , периодом следования переключений $T_{\text{п}} = t_{\text{o}} + t_{\text{в}}$ и скважностью импульса включения $\tau = T_{\text{п}}/t_{\text{в}}$, где t_{o} — время отключения $R_{\text{доб}}$; $t_{\text{в}}$ — время включения $R_{\text{доб}}$.

Амплитуда тока, время включения и время отключения добавочного сопротивления зависят от режима работы генератора, статической характеристики регулятора (зоны нечувствительности), которая на практике несимметрична, и электротехнических характеристик используемых материалов.

Чем больше мощность подводимой или отводимой энергии (производительность генератора) при увеличении или уменьшении напряжения, тем быстрее изменяется ток возбуждения. В таком регуляторе в дополнении к амплитудной модуляции появляется побочная широтно-импульсная модуляция. Действительный ток возбуждения в этом случае определяется средним значением за период регулирования с учетом изменения амплитуды и скважности процесса регулирования. При этом сила тока возбуждения увеличивается, если время отключения добавочного резистора увеличивается по сравнению со временем его включения.

Скорость нарастания напряжения при отсутствии в цепи возбуждения добавочного резистора, а также скорость убывания напряжения при подключении добавочного резистора зависят от частоты вращения ротора генератора.

При подключении добавочного резистора с увеличением частоты вращения ротора понижается скорость убывания напряжения.

При отключенном резисторе сопротивление цепи возбуждения равно сопротивлению обмотки возбуждения R_b , а при включенном резисторе — $R_b + R_{\text{доб}}$. В процессе регулирования сопротивление цепи возбуждения изменяется скачкообразно от R_b до $R_b + R_{\text{доб}}$.

Чем больше частота вращения и сила тока возбуждения, тем выше напряжение генератора; чем больше сила тока его нагрузки — тем ниже это напряжение.

Скоростная характеристика генератора при работе с регулятором напряжения представлена на рис. 1.2.

При увеличении частоты вращения от 0 до n_x , т. е. пока регулятор напряжения не работает, ток возбуждения $I_b = U/R_b$ возрастает до максимального значения. В случае дальнейшего ее увеличения регулятор напряжения начинает поддерживать заданное напряжение, причем коэффициент заполнения $\gamma = 1/\tau$ возрастает от 0 до 1, а ток возбуждения уменьшается до значения, соответствующего постоянному включению резистора: $I_b = U/(R_b + R_{\text{доб}})$.

Дальнейшее увеличение частоты вращения приводит к возрастанию напряжения и тока возбуждения. Таким образом, сопротивление добавочного

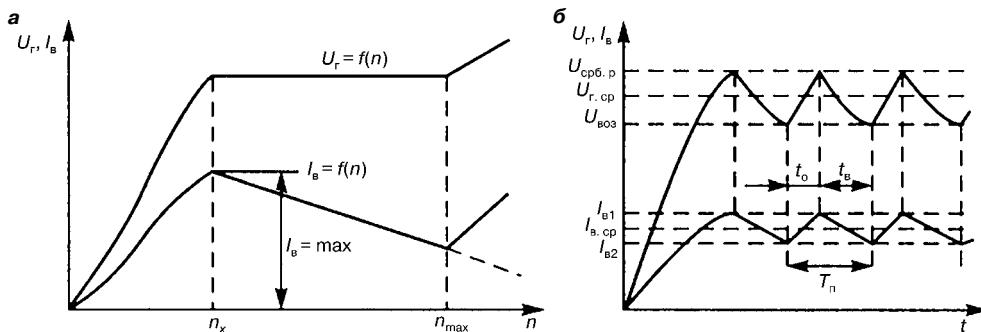


Рис. 1.2

Зависимость напряжения генератора и силы тока в обмотке возбуждения:

а — от частоты вращения ротора (скоростная характеристика генератора при работе с регулятором напряжения); *б* — от времени (переходная функция регулятора напряжения).

резистора определяет максимальную частоту вращения ротора генератора, при которой возможно регулирование напряжения. В регуляторах без дополнительного резистора диапазон регулирования увеличивается и ограничивается лишь значением тока возбуждения, обеспечивающим устойчивую работу электрогенератора.

Зависимости силы тока возбуждения и напряжения генератора от времени показаны на рис. 1.2б. Время t_o (резистор отключен) с ростом частоты вращения уменьшается, а время t_b (резистор включен) увеличивается.

В обмотке возбуждения происходит усреднение тока возбуждения до величины $I_{b,ср}$, определяемой исходя из фактического сопротивления цепи возбуждения, эквивалентного некоторому постоянному значению $R_{\text{эф}}$, которое представляет собой среднее значение изменяющегося сопротивления за период регулирования:

$$R_{\text{эф}} = \frac{R_b t_o + (R_b + R_{\text{доб}})}{t_o + t_b} = R_b + \gamma_t R_{\text{доб}}, \quad (1.6)$$

где γ_t — относительное время включения добавочного резистора (коэффициент заполнения импульса включения).

Сила тока возбуждения

$$I_b = \frac{U}{R_{\text{эф}}} = \frac{U}{R_b + \gamma_t R_{\text{доб}}}. \quad (1.7)$$

Уменьшение частоты переключений возможно в случае, когда текущее значение тока возбуждения мало отличается от значения, при котором обеспечивается стабилизация напряжения в данном режиме работы. Поэтому для ограничения значения тока возбуждения в цепи обмотки и обеспечения требуемого качества напряжения стали применять трехпозиционные (двухступенчатые) и даже четырехпозиционные регуляторы. В них сопротивление цепи возбуждения имеет три или четыре значения. На практике используют в различных сочетаниях отключение обмотки возбуждения ($R_1 = \infty$), включение $R_2 = R_b + R_{\text{доб1}}$, включение $R_3 = R_b + R_{\text{доб2}}$, а в ряде случаев — замыкание обмотки возбуждения.

Современные полупроводниковые элементы способны переключать цепи с большими частотами с неограниченным сроком работы, таким образом была решена проблема числа переключений коммутирующего ключа.

В современных регуляторах силу тока возбуждения изменяют путем включения и отключения обмотки возбуждения от питающей сети без дополнительного резистора, при этом меняется скважность (относительная продолжительность времени включения обмотки). Если для стабилизации напряжения требуется снизить силу тока возбуждения, то время включения обмотки возбуждения уменьшается; если нужно повысить — время увеличивается.

Возникновение побочной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) в процессе двухпозиционного регулирования обусловило разработку регуляторов, в которых на выходе используется только ШИМ. В зарубежных генераторах широко применяются регуляторы напряжения с ШИМ при управлении то-

ком обмотки возбуждения; процесс регулирования становится дискретным, а частота переключений остается постоянной и определяется параметрами внутреннего генератора пилообразного напряжения.

В генераторах с амплитудной модуляцией частота переключений меняется при изменении режима работы генератора. При этом нижний предел частоты переключений составляет 25–50 Гц.

Генераторные установки выпускаются с номинальным напряжением 14 и 28 В. На автомобилях с дизельными двигателями могут применяться генераторные установки на два уровня напряжения — 14 и 28 В. Для получения второго уровня напряжения применяют электронные удвоители напряжения, трансформаторно-выпрямительные блоки и накопительные конденсаторы.

Структурно-поточная схема генераторной установки представлена на рис. 1.3, в ней используется САР с принципом регулирования по отклонению. На схеме указаны функциональные элементы системы регулирования и характеристики входных и выходных потоков.

Генератор содержит трехфазные обмотки статора 7, ротор 6 с обмоткой возбуждения ОВ и трехфазный двухполупериодный выпрямитель 2; управляющее устройство — датчик (Δ), устройство сравнения ($УСр$), задающее устройство ($ЗДУ$), устройство управления ($УУ$), исполнительное устройство ($ИУ$) и регулирующий орган ($РО$). Объектом регулирования является энергетический преобразователь генератора ($ЭП(G)$) $G_a(AM)M \rightarrow U_s(AM)E \rightarrow U_r(AM)E$. Устройство сравнения является

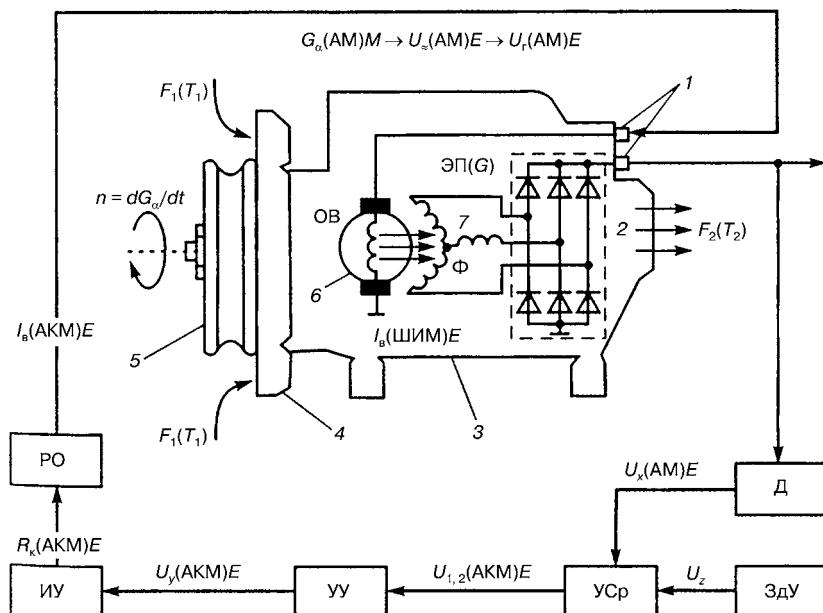


Рис. 1.3
Структурно-поточная схема генераторной установки:

1 — клеммы; 2 — выпрямитель; 3 — корпус электрогенератора; 4 — вентилятор; 5 — шкив механического привода; 6 — ротор; 7 — статор.

релейным элементом, в котором осуществляется квантование сигнала на два уровня U_1 и U_2 с функцией преобразования

$$U_{1,2} = \begin{cases} U_1, & \text{если } U_x > U_z, \\ U_2, & \text{если } U_x < U_z. \end{cases} \quad (1.8)$$

При включении привода генератора на обмотку возбуждения (ОВ) через регулирующий орган подается напряжение аккумуляторной батареи и генератор самовозбуждается. С увеличением частоты вращения ротора генератора возрастает напряжение U_r на выходе. Оно воспринимается датчиком. Сигнал U_x с датчика поступает на УСр, где сравнивается с заданным значением U_z . Сигнал $U_{1,2}$ с УСр поступает на УУ, являющееся релейным элементом с зоной нечувствительности и формирующее закон управления.

Напряжение на выходе УУ определяется функцией преобразования

$$U_y = \begin{cases} U_{\text{срб.р}} & \text{при } U_{\text{вх}} > U_2, U'_{\text{вх}} > 0, \\ U_{\text{воз.р}} & \text{при } U_{\text{вх}} < U_2, U'_{\text{вх}} > 0, \\ U_{\text{срб.р}} & \text{при } U_{\text{вх}} > U_1, U'_{\text{вх}} < 0, \\ U_{\text{воз.р}} & \text{при } U_{\text{вх}} < U_1, U'_{\text{вх}} < 0, \end{cases} \quad (1.9)$$

где $U_{\text{срб.р}}$ — напряжение срабатывания релейного элемента (см. рис. 1.2б); $U_{\text{воз.р}}$ — напряжение возврата.

Разность $\Delta U = U_{\text{срб.р}} - U_{\text{воз.р}}$ является зоной нечувствительности релейного элемента и определяет пульсацию выходного напряжения генератора. Отношение $U_{\text{воз.р}}/U_{\text{срб.р}}$ называется коэффициентом возврата реле $k_{\text{воз.р}}$.

При равенстве напряжения генератора напряжению срабатывания в цепи возбуждения исполнительное устройство скачкообразно изменяет сопротивление коммутации R_k . Сила тока возбуждения через регулирующий орган, а следовательно, и через обмотку возбуждения ограничивается. В результате сила тока возбуждения и напряжение U_r уменьшаются. Когда напряжение генератора становится равным $U_{\text{воз.р}}$, срабатывает УУ и в цепи возбуждения восстанавливается прежнее значение сопротивления. Сила тока возбуждения и напряжение генератора возрастают, а при напряжении $U_{\text{срб.р}}$ снова срабатывает реле. Далее процесс регулирования периодически повторяется. При этом средние значения напряжения, равного номинальному значению U_n , и тока возбуждения остаются постоянными при данной частоте вращения якоря. Процесс регулирования напряжения происходит следующим образом: при увеличении или уменьшении напряжения регулятор САР соответственно уменьшает или увеличивает силу тока возбуждения и стабилизирует напряжение в заданных пределах.

Рассмотрим процессы преобразования, происходящие в элементах системы. Энергия и информация в любой системе могут передаваться от элемента к элементу только с материальным потоком (потоком вещества), поступающим на вход элемента. Поток вещества характеризуется тремя параметрами:

- видом энергии;
- носителем информативного параметра (физическими величинами процесса);
- формой информативного параметра (видом модуляции).

Энергетический преобразователь ЭП преобразует механическую энергию M углового перемещения ротора генератора G_α , представляемого аналоговым носителем процесса преобразования амплитудной модуляции (АМ), в электрическую энергию E переменного напряжения $U_{\tilde{x}}$ с носителем АМ с дальнейшим преобразованием носителя в напряжение постоянного тока U_r . Процесс преобразования осуществляется под воздействием второго параметра физического явления, которое заключается в преобразовании электрической величины E (тока возбуждения I_b) с амплитудно-кодовой модуляцией (АКМ) в магнитную величину Mg (магнитный поток Φ) с АМ.

Процесс преобразования можно записать в виде выражения

$$\left. \begin{array}{l} G_\alpha(\text{AM})M \rightarrow \\ I_b(\text{АКМ})E \rightarrow \Phi(\text{AM})Mg \end{array} \right\} U_{\tilde{x}}(\text{AM})E \rightarrow U_r(\text{AM})E.$$

Датчик D преобразует поступивший на него с выхода генератора электрический сигнал E в виде напряжения $U_r(\text{AM})$ в напряжение U_x с непрерывным по форме носителем информационного сигнала и амплитудной модуляцией АМ: $U_x(\text{AM})E$. В устройстве сравнения происходит сравнение (вычитание) величин U_x , U_z и квантование носителя информационного параметра. УСр является релейным элементом. Амплитудно-модулированный с квантованным на два уровня носителем информативного параметра АКМ сигнал (двоичный сигнал) на выходе УСр имеет вид $U_{1,2}(\text{АКМ})E$. Он преобразуется в УУ в сигнал $U_y(\text{АКМ})E$, амплитуда и фаза которого определяют алгоритм управления.

Исполнительное устройство осуществляет преобразование $U_y(\text{АКМ})E \rightarrow R_k(\text{АКМ})E$. В регулирующем органе происходит следующее преобразование: $R_k(\text{АКМ})E \rightarrow I_b(\text{АКМ})E$. В генераторе также происходит и побочная широтно-импульсная модуляция (ШИМ) носителя информативного параметра — тока возбуждения: $I_b(\text{ШИМ})E$.

Тепловая энергия, которая является продуктом побочного преобразования механической и электрической энергии в тепло, отводится с помощью потока теплоносителя, создаваемого вентилятором 4. Параметры теплоносителя на входе $F_1(T_1)$ и на выходе $F_2(T_2)$ указаны на рис. 1.3.

1.2. РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

1.2.1. ДВУХПОЗИЦИОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Принципиальная схема САР напряжения генераторной установки представлена на рис. 1.4.

В САР можно выделить следующие функциональные устройства:

- датчик (D), чувствительным элементом которого является резистивный делитель $R1, R2$. С него снимается информация о значении напряжения генератора. Простота датчика объясняется тем, что на его входе и выходе информация передается однородными электрическими величинами —

напряжениями. В этом случае функции датчика может выполнять простой электрический контакт;

- устройство сравнения (УССР), включающее стабилитрон $VD1$ и резистор $R3$. Стабилитрон выполняет функции задающего устройства. Напряжение стабилизации стабилитрона и значения $R1-R3$ определяют величину заданного напряжения U_z ;
- устройство управления (УУ), реализованное на транзисторе $VT1$ с нагрузкой $R4$. По сигналу с УСр формирует закон управления исполнительным устройством. На базу $VT1$ поступает сигнал $U_{1,2} = (kU_x - U_z)$, где k — коэффициент деления делителя;
- исполнительное устройство (ИУ), представляющее собой усилительный каскад на транзисторе $VT2$, работающем в ключевом режиме. Диод $VD2$ играет вспомогательную роль, защищая транзистор от больших обратных напряжений при отключении обмотки возбуждения;
- регулирующий орган (РО) — сопротивление добавочного резистора или сопротивление коммутирующего элемента, обеспечивающее изменение тока в обмотке возбуждения (ОВ). В РО формируется величина тока возбуждения;
- объект регулирования ОР — электрогенератор, переменное напряжение которого преобразуется диодным выпрямителем $VD3-VD8$ в постоянное. Работает система автоматического регулирования напряжения следующим образом. Если напряжение генератора U_g меньше U_z , определяемого напряжением стабилизации стабилитрона $VD1$, то стабилитрон закрыт, его сопротивление велико и базовый ток управления $VT1$ недостаточен для его открытия, транзистор закрыт. На базу $VT2$ через резистор $R4$ подается положительное напряжение, и он открывается. Через открытый транзисторный ключ $VT2$ в обмотку возбуждения поступает ток от источника питания.

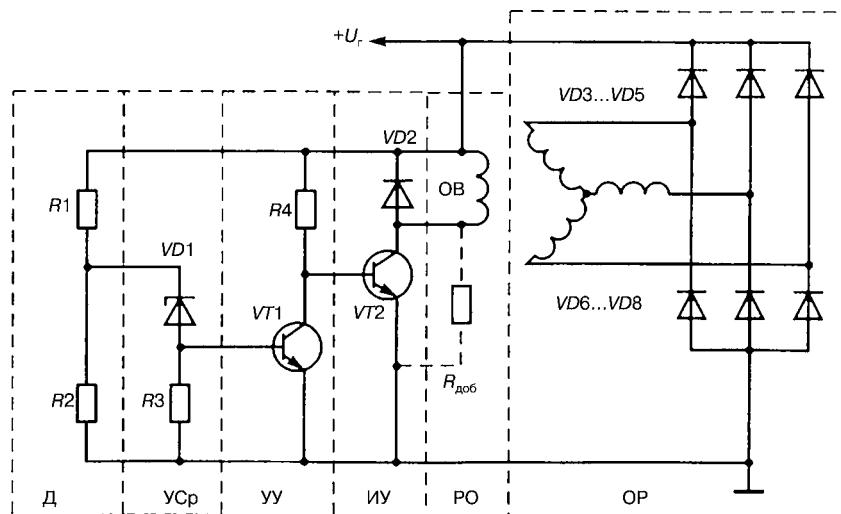


Рис. 1.4
Принципиальная схема САР напряжения генераторной установки

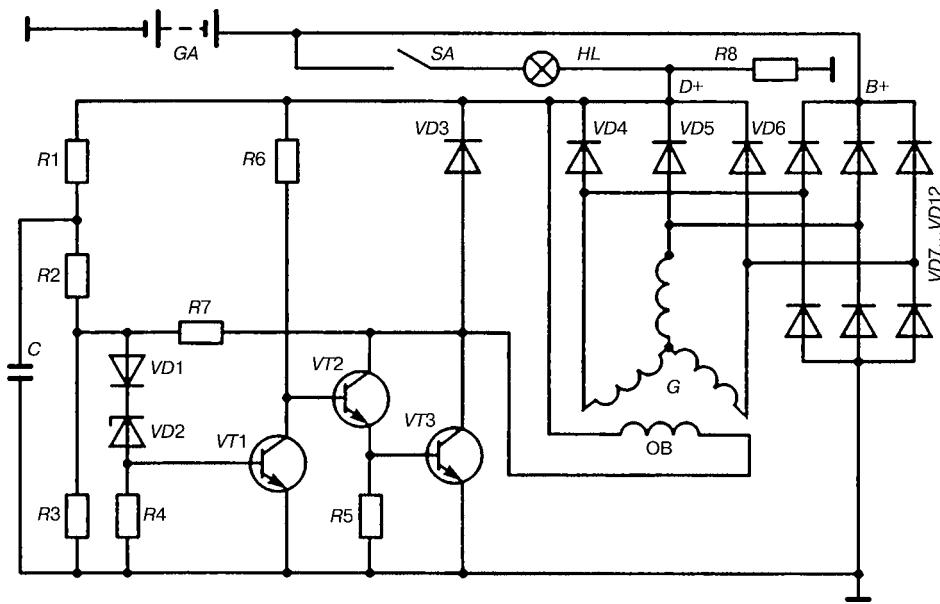


Рис. 1.5

Принципиальная схема системы автоматического регулирования напряжения автомобильного генератора типа ЕЕ14V3 фирмы Bosch

Когда напряжение генератора и напряжение стабилизации стабилитрона становятся равными, стабилитрон открывается («пробивается»), VT1 переходит в состояние насыщения (напряжение на переходе «эмиттер — коллектор» мало) и шунтирует переход «база — эмиттер» VT2. Транзистор VT2 закрывается, ток через обмотку возбуждения не протекает. Напряжение генератора начинает уменьшаться, и при определенном его значении стабилитрон закрывается.

Весь процесс регулирования периодически повторяется. Пульсации выходного напряжения генератора сглаживаются на выходном емкостном фильтре, функции которого выполняет аккумуляторная батарея.

В применяемых в настоящее время САР напряжения автомобилей регуляторы напряжения выполняются исключительно на электронных элементах. В генераторных установках электронные элементы, узлы и устройства изготавливаются из полупроводниковых материалов (чаще — из кремния) с использованием различных технологических процессов. Для элементов базовыми являются гибридная и полупроводниковая (интегральная) технологии.

Узлы и устройства, имеющие определенное схемное решение, могут быть воплощены в различных конструкциях, при изготовлении которых используются соответствующие технологии. Современный уровень развития микроэлектроники позволяет производить узлы и устройства в виде интегральных микросхем и отказаться от традиционных конструкций со сборкой, монтажом и пайкой дискретных элементов на платах.

На рис. 1.5 представлена принципиальная схема САР напряжения автомобильного генератора типа ЕЕ14V3 фирмы Bosch, работа которой полностью соответствует ранее рассмотренной САР.

Практические схемы усложняются за счет введения дополнительных элементов, улучшающих качество работы системы и ее динамические характеристики. Так, с помощью диода $VD1$ осуществляют температурную компенсацию параметров стабилитрона, конденсатор C является фильтром на входе регулятора, сопротивление $R7$ выполняет функции жесткой обратной связи, обеспечивающей ускоренное переключение транзисторов, $VD3$ гасит обратное напряжение на транзисторах. Соединение транзисторов $VT2$ и $VT3$, при котором их коллекторные выводы объединены, а питание базовой цепи одного транзистора производится от эмиттера другого, называется схемой Дарлингтона. При таком соединении они могут рассматриваться как один транзистор с большим коэффициентом усиления. Использование дополнительного выпрямителя $VD4$ – $VD6$ для питания обмотки возбуждения устраняет разряд батареи GA при выключенном двигателе.

Все системы автомобилей, как правило, снабжаются устройствами контроля и диагностики. В генераторной установке для контроля работоспособности используются лампа HL и резистор $R8$. При неработающем двигателе автомобиля замыкание контактов выключателя зажигания SA позволяет току от аккумуляторной батареи GA через лампу HL поступать в обмотку возбуждения генератора. Если лампа HL горит, значит, в цепи обмотки генератора нет обрыва. После запуска двигателя напряжение на выводах генератора $D+$ и $B+$ выравнивается и лампа гаснет. Если генератор при работающем двигателе не вырабатывает напряжение, то HL продолжает гореть (сигнал об отказе генератора). Введение $R8$ в цепь лампы позволяет контролировать целостность обмотки возбуждения. В случае обрыва обмотки возбуждения при работающем двигателе загорается лампа.

Рассмотрим процесс, происходящий в непрерывной двухпозиционной системе автоматического регулирования. Его характер при использовании непрерывных квантованных сигналов в регуляторе позиционного действия определяется статической характеристикой релейного элемента и свойствами элементов системы автоматического регулирования, описываемыми линейными дифференциальными уравнениями. В линейной части системы первостепенное значение имеют параметры объекта регулирования, которые определяют характер дифференциального уравнения, описывающего его функционирование. В теории автоматического регулирования дифференциальные уравнения представляются в виде передаточных функций.

В замкнутой САР при статической характеристике релейного элемента с зоной нечувствительности в установившемся режиме возникают устойчивые автоколебания с определенной частотой (периодом) и амплитудой. Зона нечувствительности определяется порогами срабатывания $U_{срб.р}$ и возврата $U_{воз.р}$ релейного элемента. Параметры колебательного процесса в установившемся режиме определяются передаточной функцией объекта регулирования.

Если предположить, что объект регулирования является апериодическим звеном без запаздывания, время нарастания напряжения генератора соответствует импульсу включения тока возбуждения, а время спада напряжения — паузе (ток возбуждения отключается), то процесс регулирования на-

пряжения генератора описывается на участке нарастания и спада напряжения следующими дифференциальными уравнениями

$$\begin{aligned} U_{\text{и}} &= i_{\text{в}} R_{\text{в.и}} + L_{\text{в.и}} \frac{di_{\text{в}}}{dt} \quad \text{при } 0 \leq t \leq \tau_1; \\ U_{\text{п}} &= i_{\text{в}} R_{\text{в.п}} + L_{\text{в.п}} \frac{di_{\text{в}}}{dt} \quad \text{при } 0 \leq t \leq \tau_2, \end{aligned}$$

где $U_{\text{и}}$ и $U_{\text{п}}$ — напряжения, приложенные к цепи возбуждения соответственно во время импульса и паузы тока возбуждения; $R_{\text{в.и}}$ и $R_{\text{в.п}}$ — сопротивления цепи возбуждения соответственно во время импульса и паузы; $L_{\text{в.и}}$ и $L_{\text{в.п}}$ — индуктивности цепи возбуждения соответственно во время импульса и паузы.

Предположим, что $U_{\text{и}}$ и $U_{\text{п}}$ — обобщенные параметры, учитывающие встречные ЭДС, падения напряжения на полупроводниковых элементах и т. д. Такими же обобщенными параметрами являются $R_{\text{в.и}}$, $R_{\text{в.п}}$, $L_{\text{в.и}}$, $L_{\text{в.п}}$. Если все указанные обобщенные параметры постоянные и ток в цепи возбуждения непрерывный, то решением линейных дифференциальных уравнений является переходная функция (см. рис. 1.2a), которая может быть представлена аналитическими выражениями:

$$\begin{aligned} i_1(t) &= \left(I_2 + \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в.и}}} \right) e^{-\frac{t}{T_{\text{в.и}}}} + \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в.и}}} \quad \text{при } 0 \leq t \leq \tau_1; \\ i_2(t) &= \left(I_1 + \frac{kU_{\text{и}}}{R_{\text{в.и}}} \right) e^{-\frac{t}{cT_{\text{в.и}}}} + \frac{kU_{\text{и}}}{R_{\text{в.и}}} \quad \text{при } 0 \leq t \leq \tau_2, \end{aligned}$$

где k — коэффициент, учитывающий изменение структуры регулятора, равный $U_{\text{п}}R_{\text{в.и}}/(U_{\text{и}}R_{\text{в.п}})$; c — коэффициент, учитывающий изменение параметров цепи возбуждения, равный $T_{\text{в.п}}/T_{\text{в.и}} = L_{\text{в.п}}R_{\text{в.и}}/(L_{\text{в.и}}R_{\text{в.п}})$; $T_{\text{в.и}}$, $T_{\text{в.п}}$ — электромагнитные постоянные цепи возбуждения, равные соответственно $L_{\text{в.и}}/R_{\text{в.и}}$, $L_{\text{в.п}}/R_{\text{в.п}}$.

Начальные силы тока I_1 и I_2 можно определить из граничных условий (см. рис. 1.2a):

$$i_1(0) = i_2(\tau_2); \quad i_1(\tau_1) = i_2(0).$$

Для граничных условий:

$$\begin{cases} I_1 = \left(I_2 + \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в.и}}} \right) \exp\left(-\frac{\tau_1}{T_{\text{в.и}}}\right) + \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в.и}}}; \\ I_2 = \left(I_1 + \frac{kU_{\text{и}}}{R_{\text{в.и}}} \right) \exp\left(-\frac{\tau_2}{cT_{\text{в.и}}}\right) + \frac{kU_{\text{и}}}{R_{\text{в.и}}}. \end{cases} \quad (1.10)$$

Решая систему уравнений (10), можно найти выражения для токов $I_1 = f_1(c, \gamma_{\tau}, k, \tau_{\text{в}})$; $I_2 = f_2(c, \gamma_{\tau}, k, \tau_{\text{в}})$ и пульсацию силы тока возбуждения

$$\Delta I_{\text{в}} = I_1 - I_2,$$

где $\gamma_{\tau} = \tau_1/T$ — относительная длительность импульса; $\tau_{\text{в}} = T/T_{\text{в.и}}$ — относительная длительность периода переключения реле; $T = \tau_1 + \tau_2$ — период

переключений реле. Среднюю силу тока возбуждения определяют путем интегрирования

$$I_{\text{в.ср}} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{\tau_1} i_1(t) dt + \int_0^{\tau_2} i_2(t) dt \right]. \quad (1.11)$$

В общем случае средняя сила тока возбуждения при двухпозиционном регулировании зависит от следующих факторов:

- относительной длительности импульса γ_t ;
- относительной длительности периода переключений τ_b (следовательно, и частоты переключений реле);
- параметров цепи возбуждения (коэффициента c);
- структуры регулирования (коэффициента k).

Изменения перечисленных величин могут быть положены в основу способа регулирования напряжения. В регуляторах напряжения автотракторных генераторов применяют регулирование:

- широтно-импульсное (изменением γ_t);
- частотное (изменением τ_b);
- комбинированное (изменением γ_t и τ_b).

Через параметры реле можно выразить среднее напряжение, поддерживаемое регулятором:

$$U_{\text{г.ср}} = 0,5(U_{\text{срб.р}} + U_{\text{воз.р}}) = 0,5(1 + k_{\text{воз}})U_{\text{срб.р}}, \quad (1.12)$$

а также пульсацию регулирования напряжения

$$\Delta U_{\text{г}} = U_{\text{срб.р}} - U_{\text{воз.р}} = (1 + k_{\text{воз}})U_{\text{срб.р}}. \quad (1.13)$$

Полученные соотношения позволяют определить γ_t и τ_b , а следовательно, и частоту переключений $f_p = 1/T = 1/(\tau_b T_{\text{в.и}})$ в зависимости от частоты вращения якоря генератора. При необходимости можно определить зависимости γ_t и τ_b от нагрузки на генератор. Как видно, γ_t и τ_b зависят от параметров реле ($U_{\text{г.ср}}$, $\Delta U_{\text{г}}$), параметров генератора (a , b , C_e , $R_{\text{в.и}}$, $L_{\text{в.и}}$), схемы регулирования (k , c). Для определения зависимостей γ_t и τ_b от частоты вращения якоря генератора и нагрузки необходимо знать значения перечисленных параметров.

1.2.2. РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ ДИСКРЕТНОГО ДЕЙСТВИЯ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Преобразование непрерывной величины с амплитудной модуляцией в сигнал с широтно-импульсной модуляцией можно осуществить с помощью устройства, схема которого, а также диаграммы, поясняющие принцип его работы, приведены на рис. 1.6.

Устройство содержит генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛН), выполненный на операционных усилителях $DA1$, $DA2$, устройство сравнения (УСр), выполненное на операционном усилителе $DA3$, и триггер DD .

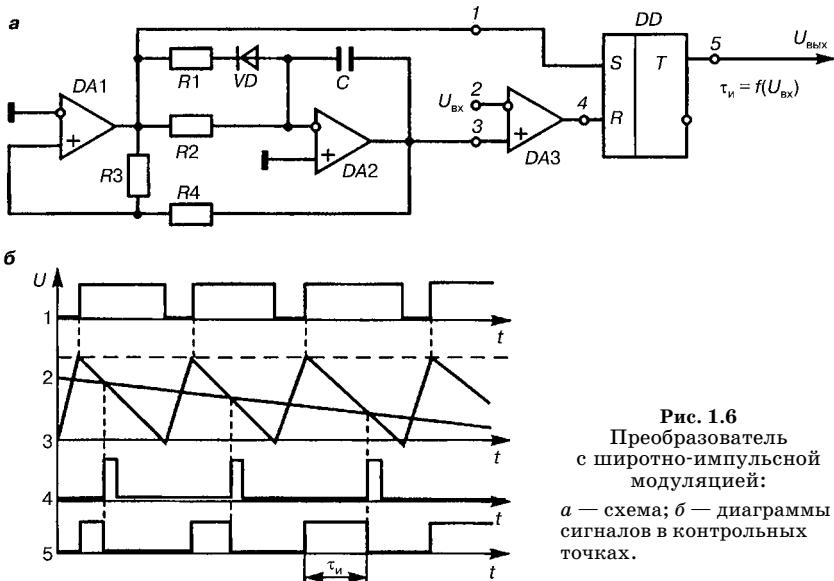


Рис. 1.6
Преобразователь
с широтно-импульсной
модуляцией:
а — схема; б — диаграммы
сигналов в контрольных
точках.

Входной сигнал $U_{\text{вх}}$ (диаграмма 2) сравнивается на УСр с линейно изменяющимся напряжением $U_{\text{л}}$ (диаграмма 3). Частота работы ГЛН постоянна и выбирается исходя из решаемой задачи. По обратному ходу пилообразного напряжения (диаграмма 1) DD устанавливается в лог. «1» (диаграмма 5). При совпадении напряжений на входах $DA3$ на его выходе появляется сигнал (диаграмма 4), устанавливающий DD в лог. «0». Длительность импульса на выходе триггера пропорциональна напряжению на входе в моменты сравнения $\tau_i = f(U_{\text{вх}})$. На выходе преобразователя получается сигнал с ШИМ. Преобразователь осуществляет преобразование $U_{\text{вх}}(\text{AM})E \rightarrow U_{\text{вых}}(\text{ШИМ})E$. Импульсы, идущие с УСр по отношению к началу пилообразного напряжения, можно рассматривать как сигнал с фазоимпульсной модуляцией (ФИМ).

РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Применение регуляторов дискретного действия с постоянной частотой переключений позволяет устраниить ряд негативных свойств двухпозиционных регуляторов непрерывного действия. Можно синтезировать несколько вариантов таких регуляторов. На рис. 1.7 представлена одна из возможных САР напряжения с использованием преобразователя напряжение — временной интервал (преобразователя сигнала с ШИМ).

Система содержит генератор G с обмоткой возбуждения LG , выпрямитель UZ , датчик регулятора (D), как правило, выполненный в виде делителя напряжения, формирователь опорного напряжения (ФОН), выполняющий функции задающего устройства, устройства сравнения (УСр1), преобразователь «напряжение — время» (ПНВ) и усилитель мощности (УМ). ПНВ, в свою очередь, состоит из генераторов тактовых импульсов (ГТИ) и линейного напряжения (ГЛН), устройства сравнения (УСр2), триггера T . Для питания

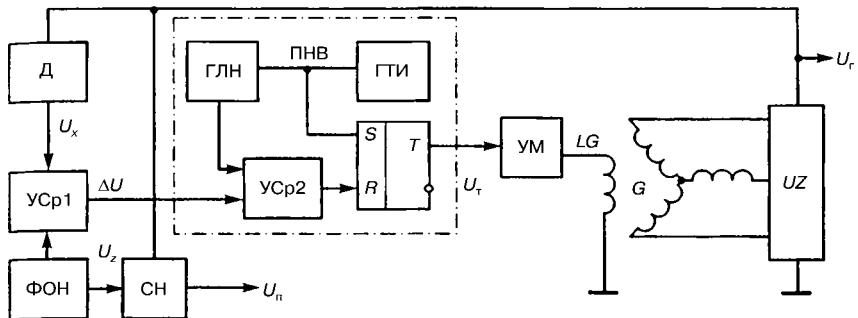


Рис. 1.7

Функциональная схема системы регулирования напряжения дискретного действия с преобразователем «напряжение — временной интервал» (с ШИМ преобразователем)

электронной части системы используется стабилизатор напряжения (СН) второй ступени стабилизации. Он же формирует заданное (опорное) напряжение U_x .

Работает система регулирования следующим образом. На УСр1 подается напряжение с ФОН и Д. Разность U_x и U_z с выхода УСр1, равная ΔU , поступает на УСр2 ПНВ. ГТИ дискретизирует процесс регулирования. Время, равное периоду следования импульсов с ГТИ, определяет цикл преобразования напряжения в длительность импульса (временной интервал). Импульсы с ГТИ синхронизируют работу ГЛН. В УСр2 напряжение с ГЛН сравнивается с ΔU . При совпадении значений сравниваемых напряжений на выходе УСр2 вырабатывается сигнал, который сбрасывает T в лог. «0». Предварительно триггер импульсом с ГТИ устанавливается в лог. «1». Импульсы с выхода триггера поступают на УМ и далее на обмотку возбуждения. ПНВ осуществляет преобразование $\Delta U(\text{AM})E \rightarrow U_t(\text{ШИМ})E$ с функцией преобразования $\tau_i = f(\Delta U)$, где τ_i — длительность (ширина) импульса на выходе триггера.

ТИРИСТОРНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

По способу управления тиристором тиристорные регуляторы напряжения можно разделить на регуляторы с управлением угла включения тиристора (системы с естественной коммутацией) и регуляторы с управлением относительной длительностью включения тиристора (системы с искусственной коммутацией).

На рис. 1.8 приведена принципиальная схема тиристорного регулятора напряжения с естественной коммутацией.

В регуляторе напряжения функции регулирующего органа выполняет тиристор VS . В анодную цепь тиристора включена обмотка возбуждения (ОВ) генератора, которая шунтируется диодом $VD4$. Чтобы обеспечить естественную коммутацию, тиристор подключен к генератору через однофазный двухполупериодный выпрямитель, образованный двумя диодами выпрямителя генератора и двумя вспомогательными диодами $VD5$, $VD6$. Для обеспечения возбуждения генератора к обмотке возбуждения подводится напряжение

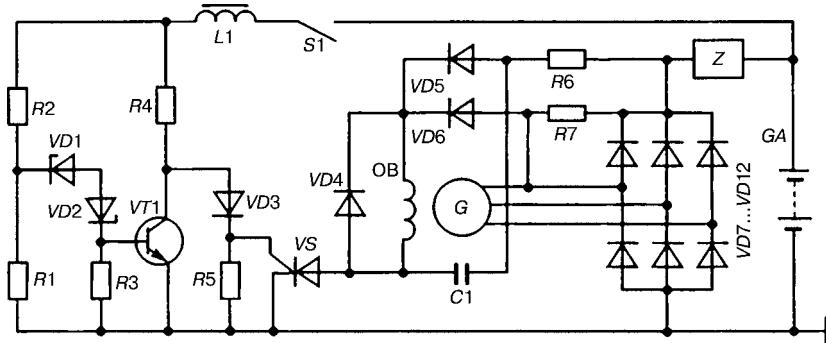


Рис. 1.8
Принципиальная схема тиристорного регулятора напряжения

аккумуляторных батарей через резисторы $R6$ и $R7$. С целью улучшить условия коммутации тиристора применен конденсатор $C1$.

Датчик, задающее устройство и устройство сравнения регулятора напряжения состоят из делителя напряжения $R1-R3$, стабилитронов $VD1$, $VD2$ и резистора $R4$. Усилитель постоянного напряжения на транзисторе $VT1$ с $R4$ выполняет функции устройства управления, дроссель $L1$ — функции фильтра.

При включении выключателя зажигания $S1$ на вход регулятора поступает напряжение аккумуляторной батареи. Поскольку оно меньше напряжения срабатывания стабилитрона, $VT1$ находится на границе состояния отсечки. По цепи $L1$, $R4$, $VD3$, $R5$ протекает ток, создающий падение напряжения на сопротивлении $R5$, достаточное для переключения тиристора VS .

Через фильтр Z , сопротивления $R6$ и $R7$, диоды $VD5$, $VD6$ и обмотку возбуждения (ОВ) подается анодное напряжение к тиристору, и он переключается в состояние насыщения. Таким образом обеспечивается возбуждение генератора. Затем ОВ практически питается от однофазного мостового выпрямителя.

Когда напряжение генератора достигает напряжения срабатывания стабилитрона, $VT1$ переключается в состояние насыщения. При этом напряжение по цепочке $VD3$, $R5$ резко уменьшается и распределяется неравномерно. Большая часть напряжения приходится на диод, а меньшая — на $R5$. Напряжение на $R5$ очень мало, следовательно, напряжение на управляющем электроде тиристора практически равно нулю. При напряжении на выходе однофазного двухполупериодного выпрямителя, близком к нулю, тиристор переключается в состояние отсечки.

Регулирующие органы тиристорных регуляторов могут быть выполнены по различным схемам управляемых выпрямителей, в том числе как однофазные и трехфазные.

Тиристорные регуляторы напряжения создают более сложные условия возбуждения генератора и требуют увеличения числа витков обмотки возбуждения генератора, так как напряжение электроснабжения обмотки возбуждения ниже выпрямленного напряжения генератора. В автотракторном электроснабжении тиристорные регуляторы напряжения применяются редко.

1.3. РЕГУЛЯТОРЫ СИЛЫ ТОКА

В элементах и устройствах систем управления автомобильными агрегатами часто возникает необходимость автоматического регулирования силы тока в цепи нагрузки по заданному закону в зависимости от тех или иных управляющих сигналов. Частным случаем такого регулирования является поддержание постоянства заданной силы тока в цепи при возможных изменениях напряжения питания, сопротивления нагрузки, температуры окружающей среды и других возмущающих воздействий.

Наиболее просто решается задача регулирования силы тока в цепях малой мощности, где регулирующие органы работают с небольшой рассеиваемой мощностью. Значительно сложнее обеспечить нормальную работу системы регулирования при токах нагрузки, превышающих 1–2 А, особенно если необходимо иметь значительный диапазон регулирования силы тока.

Ниже рассматриваются электронные системы регулирования, которые могут использоваться для автоматического регулирования силы тока в цепях с мощностью нагрузки от единицы до десятков ватт.

1.3.1. АНАЛОГОВЫЕ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛЫ ТОКА

В некоторых системах управления автомобильными агрегатами для автоматического регулирования давления жидкостей или расхода топлива, подаваемого в двигатель, применяют клапаны, или золотники, с электромагнитным приводом. При использовании электромагнитных клапанов для обеспечения стабильности регулировочной характеристики необходимо сохранять постоянство заданной силы тока в обмотке электромагнита независимо от изменения напряжения в бортовой сети автомобиля и температуры окружающей среды, влияющей на сопротивление обмотки электромагнита.

Как правило, в указанных системах управления используют сравнительно маломощные электромагниты с максимальной силой тока нагрузки, не превышающей 1 А (при номинальном напряжении бортовой сети 12 В). Для управления такими электромагнитами можно использовать систему автоматической стабилизации силы тока непрерывного регулирования. При таком режиме практически отсутствуют пульсации силы тока в цепи нагрузки, но в регулирующем органе (выходном транзисторе) рассеивается значительная мощность

$$P = (E_{\text{п}} - I_{\text{н}}R_{\text{н}})I_{\text{н}}, \quad (1.14)$$

где $E_{\text{п}}$ — напряжение питания; $I_{\text{н}}$ — сила заданного тока нагрузки; $R_{\text{н}}$ — сопротивление нагрузки (обмотки электромагнита).

На рис. 1.9 приведена схема непрерывной системы регулирования силы тока, обеспечивающей поддержание заданной силы тока в обмотке электромагнита, предназначенного для регулирования давления жидкости в напорной магистрали гидромеханической передачи.

По принципу действия такой регулятор напоминает компенсационный стабилизатор напряжения. Датчиком тока в системе регулирования является резистор R_6 , через который проходит ток нагрузки I_h электромагнита. В качестве устройства управления используется транзистор VT_1 , а регулирование силы тока нагрузки осуществляется с помощью регулирующего транзистора VT_2 , работающего в активном режиме.

Применение стабилитрона VD_1 в качестве задающего устройства обеспечивает постоянство напряжения U_{61} , подводимого к базе VT_1 , независимо от напряжения E_n бортовой сети. Напряжение U_{91} , подводимое к эмиттеру VT_1 , определяется падением напряжения на R_6 при прохождении через него I_h . Сила тока I_{61} , проходящего через базу VT_1 , определяется разностью напряжений $U_{61} - U_{91}$. Чем она больше, тем выше сила тока I_{61} , следствием чего является увеличение силы тока I_{k1} коллектора VT_1 , а также силы тока базы U_{62} и коллектора U_{k2} VT_2 , определяющей величину тока нагрузки.

Параметры схемы рассчитывают таким образом, чтобы при прохождении через R_6 тока электромагнита заданной силы падение напряжения в резисторе обеспечивало такую разность $U_{61} - U_{91}$, которая необходима для получения I_h .

При отклонении силы тока в обмотке электромагнита от заданного значения I_{zh} (например, в сторону увеличения) возрастает падение напряжения на R_6 и, следовательно, уменьшается разность $U_{61} - U_{91}$. Это приводит к снижению I_{61} и восстановлению прежней силы тока I_h в обмотке электромагнита. В случае уменьшения I_h , наоборот, происходит увеличение разности $U_{61} - U_{91}$, что обусловливает восстановление I_h . Сила тока в обмотке электромагнита не зависит ни от сопротивления его обмотки, ни от напряжения источника питания: режим работы VT_1 и VT_2 определяется исключительно отклонением напряжения на R_6 от заданного значения, которое зависит только от I_h .

Если параллельно переходу «эмиттер — коллектор» VT_2 подключить, как это показано штриховой линией на рис. 1.9, сопротивление R_7 , то тепловой режим VT_2 существенно улучшится: часть тока обмотки электромагнита будет проходить через этот резистор. R_7 должно быть выбрано таким, чтобы при максимально возможном напряжении питания сила проходящего через него тока была не больше заданного значения I_{zh} . Работа VT_2 в активном режиме обуславливает неблагоприятные энергетические показатели системы непрерывного регулирования силы тока. Снизить рассеиваемую мощность в регулирующем транзисторе можно, обеспечив ключевой режим его работы. Такой режим транзисторов используется в двухпозиционных системах регулирования.

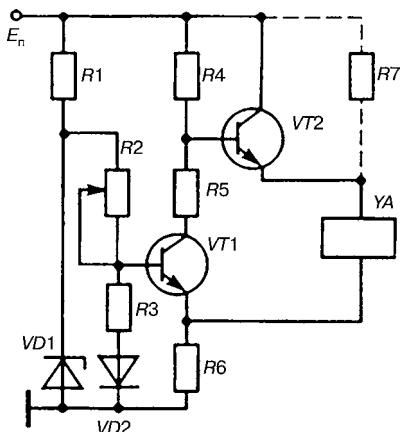


Рис. 1.9
Схема непрерывной системы
регулирования силы тока

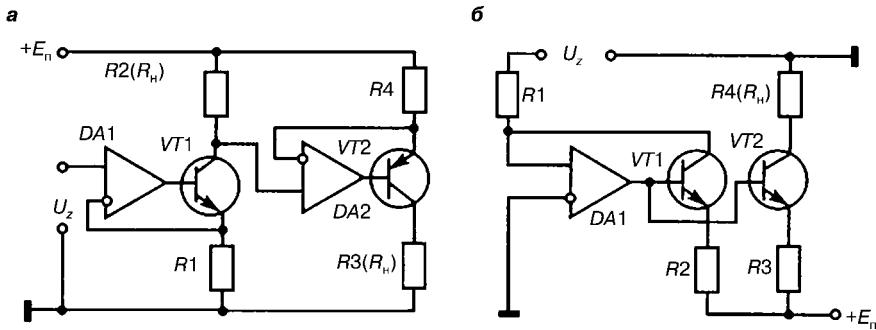


Рис. 1.10
Схемы стабилизаторов тока на основе операционных усилителей:
а — с транзистором $p-n-p$; б — с транзистором $n-p-n$.

Основу элементной базы современных электронных устройств с непрерывными амплитудно-модулированными сигналами составляет операционный усилитель (ОУ). На основе ОУ могут быть построены стабилизаторы тока с высокими техническими характеристиками. В таких стабилизаторах ОУ, охваченный отрицательной обратной связью по току, используется для поддержания тока в нагрузке, равного заданному значению тока I_z , определяемому опорным напряжением U_z . На рис. 1.10 представлены две схемы стабилизаторов тока, использующих ОУ.

В стабилизаторе, выполненном по схеме, приведенной на рис. 1.10а, операционный усилитель $DA1$ поддерживает падение напряжения на резисторе $R1$ равным U_z . Если входной ток $DA1$ много меньше тока $I_z = U_z/R1$, то $I_{z1} = I_1$, где I_{z1} — эмиттерный ток первого транзистора. Нагрузка стабилизатора включается в коллектор $VT1$ вместо $R2$. Для того чтобы ток коллектора этого транзистора как можно меньше отличался от заданного тока эмиттера, необходимо использовать транзистор с большим коэффициентом усиления или применить полевой либо составной транзистор. Падение напряжения на управляющем переходе $VT1$ в данном случае не вносит погрешности, поскольку действует в прямой цепи усилителя, охваченного цепью отрицательной обратной связи. Если требуется, чтобы нагрузка и источник опорного напряжения имели общий нулевой зажим, можно дополнить стабилизатор вторым ОУ, как это показано на рис. 1.10а. Нагрузка теперь включается в коллектор транзистора обратной проводимости $VT2$, присоединенного к выходу ОУ $DA2$. Для повышения выходного сопротивления стабилизатора тока можно включать на выходе полевой транзистор.

В стабилизаторе, выполненном по схеме, приведенной на рис. 1.10б, с помощью ОУ стабилизируется коллекторный ток $VT1$, а нагрузка включается в коллектор $VT2$. Поскольку на базы этих транзисторов подано одно и то же напряжение, при равенстве эмиттерных сопротивлений ($R1 = R2$) коллекторные токи транзисторов тоже будут равны. Так как $VT1$ включен в схему усилителя с общим эмиттером, инвертирующим сигнал, для введения отрицательной обратной связи коллектор этого транзистора соединяется с неинвертирующим входом ОУ.

1.3.2. СИСТЕМЫ ДВУХПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛЫ ТОКА

Двухпозиционная система регулирования силы тока в обмотке электромагнита, входящего в состав устройства автоматического управления сцеплением автомобиля, приведена на рис. 1.11.

Устройство сравнения регулятора выполнено на операционном усилителе DA . В качестве задающего устройства используется стабилизатор напряжения СТ, поддерживающий постоянным напряжение U_{ct} между положительным полюсом бортовой сети и шиной $-U_{ct}$.

Резистор R_2 является элементом, изменяющим задающее воздействие, и при необходимости может обеспечить изменение требуемой силы тока. Напряжение, подаваемое на инвертирующий вход 4 операционного усилителя, зависит от того, открыт или закрыт $VT1$. Если он открыт, то через $R1$ протекает дополнительный ток, проходящий через $R9$, и напряжение на входе 4 понижается до низкого уровня $U_{1\text{отк}}$ по сравнению с $U_{1\text{зак}}$, подаваемым на вход 4 при закрытом $VT1$.

Сопротивление $R9$ выбирают таким, чтобы разность напряжений $U_{1зак} - U_{1отк} = \Delta U_4$ была больше напряжения дифференциального сигнала, требуемого для перевода операционного усилителя из режима с низким уровнем выходного напряжения в режим с высоким уровнем выходного напряжения.

К неинвертирующему входу 5 операционного усилителя подводится напряжение, которое определяется выражением

$$U_5 = (U_{ct} - I_h R_{15})R_4 / (R_3 + R_4). \quad (1.15)$$

R16 выполняет функции датчика тока. Если разность напряжений $U_5 - U_4$ превышает величину ΔU_4 , то напряжение на выходе *10* усилителя имеет высокий уровень (8,5 В). При $U_5 > U_4$ напряжение на выходе усилителя низкого

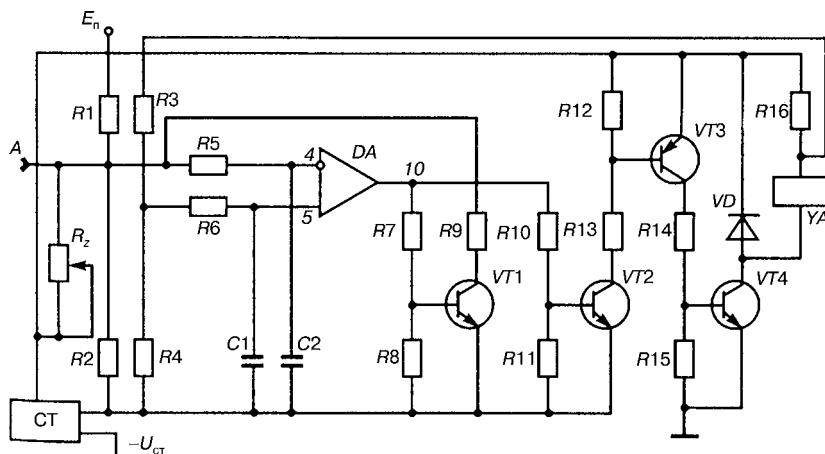


Рис. 1.11

уровня (1,5 В). В первый момент после подключения схемы к источнику питания вследствие большой индуктивности обмотки электромагнита сила тока $I_h = 0$ независимо от того, открыт или закрыт транзистор. Падение напряжения в резисторе $R16$ будет отсутствовать, благодаря чему напряжение U_5 окажется значительно выше напряжения U_4 . Следствие этого — появление на выходе 10 усилителя напряжения высокого уровня, что обеспечивает открытие $VT2$ – $VT4$ выходного усилителя с подключением обмотки электромагнита к источнику питания. Кроме того, открывается $VT1$, и на входе 4 усилителя установится напряжение $U_{4\text{отк}}$ низкого уровня.

При подключении обмотки электромагнита к источнику питания в ней постепенно увеличится сила тока, который, проходя через $R16$, обусловит в нем падение напряжения $\Delta U_{16} = I_h R16$. Из этого выражения следует, что по мере увеличения силы тока I_h происходит уменьшение U_5 , подводимого к неинвертирующему входу 5 усилителя. Когда вследствие увеличения силы тока I_h до значения $I_{h\text{срб}} (I_{h\text{max}})$ это напряжение уменьшится настолько, что разность $U_5 - U_{4\text{отк}}$ окажется меньше ΔU_4 , напряжение на выходе 10 усилителя начнет снижаться и одновременно будет постепенно закрывать $VT1$. Это вызовет повышение напряжения на входе 4 усилителя, что приведет к дальнейшему уменьшению разности $U_5 - U_4$, вследствие чего усилитель начнет работать в режиме с низким уровнем выходного напряжения. Напряжение на выходе 4 при этом равно $U_{1\text{зак}}$.

Вследствие уменьшения до низкого уровня напряжения на входе усилителя выключаются $VT2$ – $VT4$, в результате чего обмотка электромагнита отключается от источника электропитания (бортовой сети). Однако I_h при этом не падает до нуля, а уменьшается постепенно, поскольку данный ток поддерживается за счет ЭДС самоиндукции обмотки электромагнита и его цепь замыкается через диод VD .

По мере уменьшения I_h возрастает U_5 ; когда оно при силе тока $I_{h\text{воз}} (I_{h\text{min}})$ превысит напряжение $U_{1\text{зак}}$, усилитель начнет работать в режиме с высоким уровнем выходного напряжения. Вследствие открытия при этом $VT1$ и снижения напряжения на входе 4 усилителя до значения $U_{4\text{отк}}$ данный переход происходит лавинообразно и на выходе усилителя сразу же устанавливается напряжение высокого уровня. Далее процесс будет неоднократно повторяться, а сила тока в цепи электромагнита будет меняться от $I_{h\text{min}}$ до $I_{h\text{max}}$. Цепь $VT1$ образует положительную обратную связь, ускоряющую процесс переключения. В результате действия этой обратной связи при любой комбинации напряжений на входах 4 и 5 усилителя на его выходе устанавливается либо минимальное (1,5 В), либо максимальное (8,5 В) напряжение. Тем самым гарантируется работа $VT2$ – $VT4$ в режиме отсечки либо насыщения. Как в том, так и в другом случае рассеиваемая мощность в данных транзисторах минимальная. Частота изменения I_h зависит от глубины указанной положительной обратной связи, которая определяется сопротивлением резистора $R9$.

При электромагнитной постоянной времени обмотки электромагнита, равной 100–120 мс, изменением $R9$ обеспечивается регулирование частоты изменения I_h в пределах 10–1000 Гц. I_h не зависит ни от напряжения источ-

ника питания, ни от сопротивления обмотки электромагнита, поскольку входным сигналом для системы регулирования является только падение напряжения в $R16$, которое при постоянстве данного резистора является функцией I_h . Поэтому данная схема обеспечивает высокую стабильность среднего значения $I_{h, \text{ср}}$ в цепи нагрузки при значительных колебаниях таких возмущающих воздействий, как напряжение бортовой сети автомобиля и температура окружающей среды.

Наряду со стабилизацией тока в цепи нагрузки рассматриваемая схема позволяет обеспечить и изменение тока по заданному закону в зависимости от уровня управляющих сигналов, подводимых к входу A схемы. Это может быть реализовано путем изменения R_2 или подведением к входу A напряжения источника управляющего сигнала.

Изменение напряжения на входе A схемы и, следовательно, на входе 4 операционного усилителя обусловит переход ОУ от режима с низким уровнем выходного напряжения в режим с высоким его уровнем и обратно при других значениях напряжения на выходе 5 усилителя. Из формулы (15) следует, что U_5 определяет ток в обмотке электромагнита, т. е. значения $I_{h, \text{min}}$, $I_{h, \text{max}}$ и $I_{h, \text{ср}}$ будут меняться в зависимости от величины U_5 .

Приведенную систему регулирования целесообразно использовать при силе тока до 10 А.

1.4.

РЕГУЛЯТОРЫ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА И ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СЕТЬ НА АВТОМОБИЛЕ

Естественным совершенствованием регуляторов напряжения автомобилей является использование в них для обработки информации и формирования закона управления кодовой модуляции. В этом случае в качестве устройства управления применяется контроллер на базе микропроцессора.

Сигналы датчиков очень разнообразны по выходной физической величине, модуляции, значениям и формам выходных величин. Кроме того, на них могут накладываться помехи. Датчики предназначаются для преобразования измеряемой величины в электрическую величину, как правило, электрическое напряжение. При использовании микропроцессорного контроллера необходимо все сигналы датчиков привести к единой стандартной форме сигналов, используемых в применяемом микроконтроллере. Как правило, это импульсные кодовые последовательности с двухпозиционной (двоичной) амплитудной модуляцией напряжения с уровнями $U_{\text{вых}}^{-1}$ (логическая «1») и $U_{\text{вых}}^0$ (логический «0»). Например, для интегральной микросхемы типа ТТЛ $U_{\text{вых}}^{-1}$ (логическая «1») составляет не менее 2,4 В, а $U_{\text{вых}}^0$ — не более 0,4 В. Для согласования выходных сигналов датчиков с входными сигналами микропроцессора используют разнообразные информационные преобразователи. Так как датчики устанавливаются на объекте управления и конструктивно могут объединяться с ним, такие преобразователи в вычислительной технике называют устройствами сопряжения с объектом (УСО).

Первая задача, которую решает УСО, — согласование сигналов по форме. В технической литературе эти информационные преобразователи называют по-разному: фильтры, ограничители, формирователи, согласующие устройства, интерфейсные платы (карты) и т. д.

Второй задачей УСО является преобразование аналоговых сигналов в соответствующий код и кодовых сигналов на выходе микропроцессора в аналоговые сигналы. Здесь приходится решать проблему согласования различных кодов, поступающих с устройства измерения, с кодами, принятыми в данном микропроцессоре. Такие устройства называют аналого-кодовыми и кодово-аналоговыми преобразователями (АКП и КАП). Далее сигналы, полученные с КАП, необходимо согласовать с входными параметрами исполнительных устройств, которые могут устанавливаться на объекте управления.

В системах с микропроцессорами для устранения помех применяют оптраноны, обеспечивающие гальваническую развязку сильноточных цепей.

На рис. 1.12 показаны формы входных и выходных сигналов устройств сопряжения с объектом УСО, уровни выходных сигналов на схеме указаны условно.

Выходные сигналы микроконтроллера в большинстве случаев не могут быть использованы для управления исполнительными устройствами, так как выходное напряжение в большинстве применяемых на автомобилях микросхем не превышает 5 В, а номинальное напряжение исполнительных устройств на автомобиле равно 14 В. Поэтому на выходе микроконтроллера также используются УСО, которые в основном выполняют функции преобразования кодов и усиления управляющих сигналов. При необходимости применяют гальваническую развязку с помощью оптранонов. Современные универсальные микроконтроллеры состоят из входного коммутатора для аналоговых сигналов и преобразователя «аналог — код», а на выходе имеется каскад с широтно-импульсной модуляцией сигнала управления.

В системах автоматического регулирования напряжения генераторных установок используется принцип регулирования по отклонению регулируемого параметра. На практике в большинстве случаев этого оказывается недостаточно. Так, для надежной работы аккумуляторной батареи требуется,

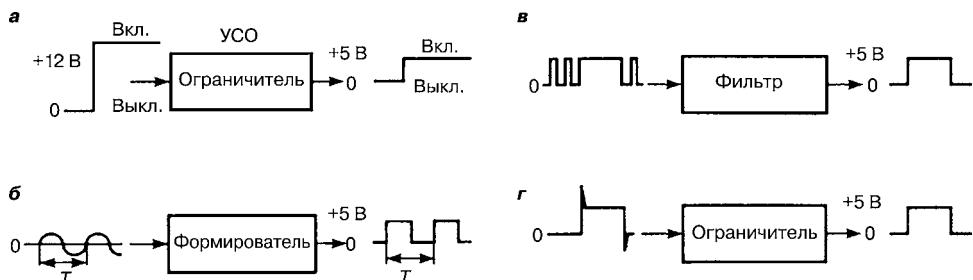


Рис. 1.12

Формы входных и выходных сигналов устройств сопряжения с объектом:

а — перепад напряжений, превышающий номинальное значение; *б* — гармонический сигнал; *в* — сигнал, содержащий помехи; *г* — сигнал с пиковыми выбросами.

чтобы с понижением температуры электролита напряжение, подаваемое на батарею от генератора, несколько повышалось, а с повышением температуры — уменьшалось. С целью автоматизации процесса изменения уровня поддерживаемого напряжения применяется датчик, помещенный в электролит аккумуляторной батареи и включенный в схему регулятора напряжения. В традиционных регуляторах для этого может использоваться резистивный датчик, подключаемый параллельно входному делителю. Изменение сопротивления датчика приводит к изменению значения задающей величины U_z . Таким образом, основной контур регулирования дополняется контуром следящего регулирования. При изменении температуры наружного воздуха также необходимо изменять номинальное напряжение генераторной установки. Для этого выполняются сезонные (летние и зимние) регулировки, которые усложняют эксплуатацию автомобилей.

Чтобы уменьшить пульсации выходного напряжения и повысить его качество, целесообразно ввести контуры управления по возмущающим величинам — току нагрузки и частоте вращения ротора генератора.

Проблемы упрощения эксплуатации и снижения затрат на обслуживание за счет усложнения устройств (а отсюда и повышение стоимости изделия) всегда имеют актуальное значение.

В отечественном машиностроении постоянно старались удешевить продукцию. Затраты на эксплуатацию никогда не учитывались и централизованно не планировались, а расходы по эксплуатации перекладывались на потребителя.

За рубежом на первом месте стоят проблемы удобства эксплуатации и надежности автомобилей, что в итоге приводит к сокращению общих затрат на транспортные перевозки.

При унификации микроконтроллеров и расширении объема их производства рассмотренные выше задачи могут быть удовлетворительно решены с помощью микропроцессорных контроллеров. При использовании МП могут решаться и другие задачи, например включение генератора только после разгона ротора до заданной частоты вращения. Такая система автоматического регулирования напряжения генераторной установки является многофункциональной. Генераторная установка с микропроцессорным контроллером представлена на рис. 1.13.

Объектом управления является электрогенератор G , переменное напряжение которого выпрямляется с помощью выпрямителя, состоящего из диодов $VD3-VD8$.

Информация о состоянии объекта управления и параметрах внешней среды поступает на микроконтроллер, выполняющий функции устройства управления и обработки информации, от датчиков через устройство сопряжения с объектом УСО. Для управления генераторной установкой используются следующие параметры: напряжение генераторной установки U_r , ток нагрузки I_n , частота вращения ротора генератора n_p , температура наружного воздуха $T_{n.b}$, температура электролита T_e . Для получения ряда параметров используются датчики температуры электролита $D_{t.e}$ и температуры наружного воздуха $D_{t.n.b}$.

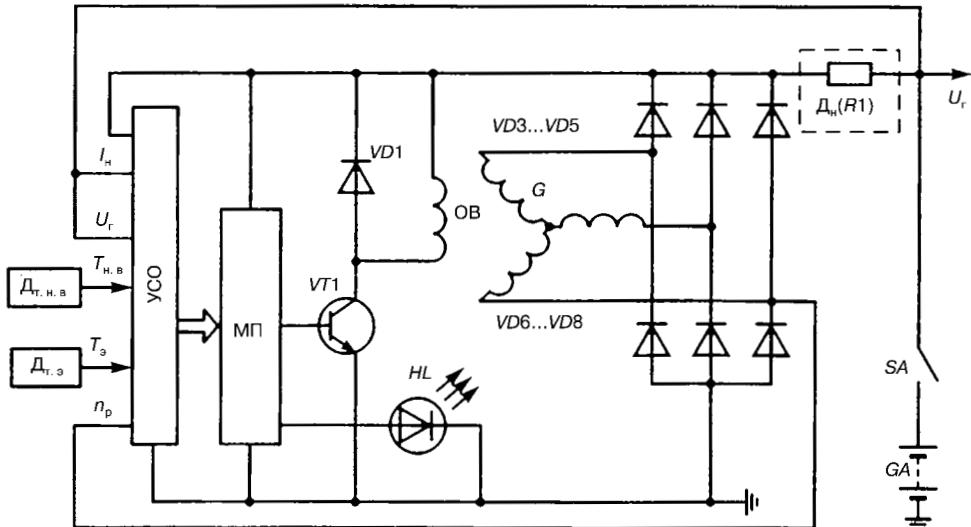


Рис. 1.13
Генераторная установка с микропроцессорным контроллером

В качестве датчика тока нагрузки D_n можно использовать низкоомный стабильный резистор, включаемый в цепь полной нагрузки, либо участок электрической цепи. Падение напряжения на таком сопротивлении будет пропорционально току нагрузки. Заданное значение номинального напряжения при нормальных условиях вводится в память микроконтроллера при выпуске изделия на производстве. В качестве сигнала частоты вращения используется напряжение фазы генератора, которое поступает на контрольную лампу HL .

Для облегчения пуска ДВС осуществляется отключение тока возбуждения на низких частотах вращения ротора, что разгружает двигатель в переходном режиме.

1.4.1. ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СЕТЬ НА АВТОМОБИЛЕ

Увеличение производительности и снижение стоимости микропроцессоров привели к использованию централизованных систем управления, ядром которых является центральный процессор. На нем сосредоточиваются все операции по обработке информации и формированию команд управления для всех объектов, входящих в данную систему. Однако, как показала практика, этот путь оказался неоптимальным с точки зрения разработки математического обеспечения, простоты обслуживания и надежности.

В настоящее время все системы управления сложными техническими объектами строятся по одним и тем же принципам — речь идет о многоуровневых, многопроцессорных системах автоматического управления с распределенными функциями, в которых микропроцессорные контроллеры и микропроцессорные устройства обработки информации составляют единую сеть. На современных автомобилях такие системы уже включают десятки микро-

процессоров. Как и в любой сложной системе, здесь первостепенными становятся вопросы согласования протоколов обмена (интерфейсов) информационными потоками между устройствами различного уровня. В этом случае система управления генераторной установкой может выполнять функции локального регулятора на первом уровне единой многоуровневой автомобильной системы управления (рис. 1.14).

На первом уровне ведется управление локальными объектами, управляющими подсистемами которых могут быть различного рода регуляторы. На втором — микропроцессорная система управления МП осуществляет комплексное согласованное управление системами автомобиля. В такие системы входят силовой агрегат (ДВС), системы электроснабжения, трансмиссия, светотехническое оборудование, оборудование салона, системы безопасности и вспомогательное оборудование. На третьем уровне центральная микропроцессорная система управления является автоматизированной системой управления, замыкающейся через устройства сопряжения с человеком (УСЧ). УСЧ являются индикаторами и органами управления, которые используются водителем при управлении автомобилем. К четвертому уровню управления, не показанному на рисунке, относятся системы, используемые водителем и обслуживающим персоналом в процессе эксплуатации автомобиля и его обслуживания.

Одним из основных объектов управления является ДВС (ОУ1). Его параметры определяются датчиками D_1 – D_p . После согласования по всем параметрам в УСО сигналы поступают на микроконтроллер системы управления ДВС (МК СУ ДВС). Команды управления через УСО поступают на исполнительные устройства ИУ и регулирующие органы РО для воздействия на ДВС и его системы.

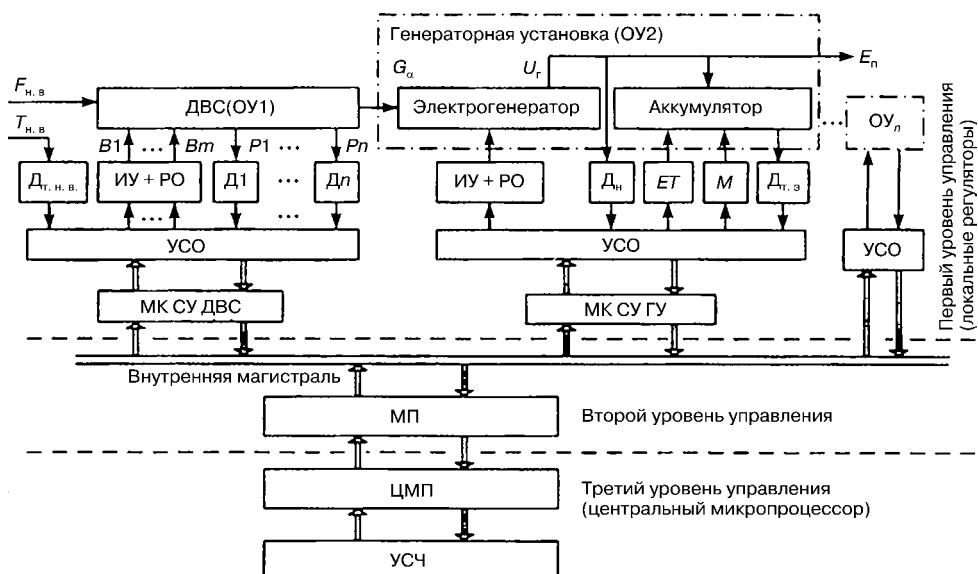


Рис. 1.14
Трехуровневая информационно-управляющая сеть на автомобиле

Вторым объектом управления в данном примере является генераторная установка. По параметрам, получаемым от датчиков температуры электролита $D_{t.e}$, температуры наружного воздуха $D_{t.n.v}$, напряжения генератора D_n , микроконтроллер генераторной установки управляет параметрами аккумулятора и напряжением бортовой сети. В современных генераторных установках с помощью нагревателя ET поддерживается температура электролита в определенных пределах. При необходимости включается устройство M , обеспечивающее механическое перемешивание электролита, что облегчает работу аккумулятора при пуске. МК СУ ГУ может по программе осуществлять изменение тока заряда, учитывая текущие параметры аккумуляторной батареи. Такая система значительно облегчает эксплуатацию аккумулятора и продлевает срок его службы.

Стандартизация интерфейсов (протоколов обмена) каналов связи в управляющей подсистеме является самой важной задачей при проектировании информационно-управляющей сети. Выбор оптимального протокола для автотранспортной информационно-управляющей сети — достаточно сложная и многоаспектная задача.

В настоящее время в различных отраслях техники уже сложились правила обмена (протоколы) информацией и командами между элементами и устройствами сети; в ряде отраслей они уже приняты как стандартные. Эта работа проводится и в автомобилестроении.

Что касается современных информационных систем, в них каналы обмена информацией (порты) при использовании кодовых видов модуляции применяют микропрограммный принцип управления и встраиваются в микропроцессор. Применение готовых каналов затрудняет построение оптимальной системы управления.

Основными характеристиками канала связи являются:

- Метод разделения каналов: временной или пространственный. В настоящее время широко используется временное разделение и уплотнение каналов. Так как в кодовых системах с временным разделением каналов применяются в качестве коммутатора каналов связи мультиплексоры и демультиплексоры, в технической литературе появился не совсем корректный термин «мультиплексная система», который характеризует только способ разделения каналов.
- Метод передачи данных: синхронный (по временным меткам) или асинхронный (по событиям).
- Быстродействие (скорость передачи данных). В настоящее время применяются четыре протокола:
 - A — для локальных вспомогательных систем управления (до 10 кбод);
 - B — для диагностических систем (до 125 кбод);
 - C — для систем, работающих в режиме реального времени (до 1 Мбод);
 - D — для систем, работающих в режиме реального времени с возможностью обеспечения мультимедийного режима (до 10 Мбод).

Как видно из рис. 1.14, на разных уровнях управления используются каналы с различными характеристиками. Для их согласования применяют модель взаимодействия, которая рассматривается в дальнейшем.

1.5. ОБРАТИМЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ АВТОМОБИЛЕЙ

1.5.1. ОБРАТИМЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

Электрические машины, такие как электрогенераторы и электродвигатели, являются обратимыми преобразователями, т. е. при определенных условиях электрогенератор может быть включен как двигатель и наоборот. Идея совместить электрогенератор и электродвигатель стартера возникла давно. Эта проблема решена в авиации. В настоящее время такая установка, получившая название «интегрированный стартер-генератор-демпфер» (ИСГД), разработана для автомобилей и используется в некоторых зарубежных моделях. Преимущества такой генераторной установки возрастают с использованием конденсаторного пуска. Как и в обычных электрических машинах, принцип работы установки основан на законах электромагнитной индукции. В качестве ротора стартера-генератора (СГ) используется маховик, на котором уложены обмотки статора. Это позволило отказаться от ременного привода. Микропроцессорный контроллер устройства управления, исходя из режима работы ДВС и условий движения, сам определяет, в каком режиме (стартера или генератора) должна работать энергетическая установка.

Традиционный стартер раскручивает коленчатый вал двигателя максимум до 150 мин^{-1} . Новая электрическая машина развивает частоту вращения коленчатого вала до 800 мин^{-1} всего за 0,2 с. Это значительно облегчает пуск двигателя, следовательно, появляется возможность автоматического выключения и пуска двигателя на любой остановке, например у светофора или в пробках. Экономия топлива в городском цикле может составлять до 35%, одновременно уменьшаются вредные выбросы в атмосферу.

Установленные на автомобиле конденсаторные накопители большой емкости облегчают пуск двигателя и могут на несколько секунд в режиме стартера добавить мощность основной силовой установки, обеспечивая необходимую приемистость при разгоне. Причем управление дополнительной механической мощностью осуществляется в автоматическом режиме микропроцессорным контроллером, что значительно облегчает управление на переходных режимах. При торможении и движении под уклон микроконтроллер переводит СГ в режим генератора, производя подзаряд батареи.

Традиционная бортовая сеть автомобиля рассчитывается на один уровень напряжения — 14 В, а для грузовых автомобилей используют два уровня — 14 и 28 В. Современные генераторные установки кроме стандартного напряжения 12 В вырабатывают для питания кондиционера:

- 100 В — для работы системы впрыска и запуска;
- 220 В переменного тока — для подключения бытовых электроприборов.

Новая генераторная установка имеет КПД до 80% во всем диапазоне частот вращения вала двигателя, что дополнительно экономит около 0,5 л топлива на 100 км пробега. Благодаря созданию ИСГД коротких импульсов

тормозящего момента система служит демпфером крутильных колебаний коленчатого вала, что обеспечивает плавную и бесшумную работу двигателя без использования балансирных валов.

ИСГД позволяет решить проблему перевода бортовой сети автомобиля на повышенное напряжение с наименьшими затратами. Повышение напряжения до 42 или 48 В облегчает работу ряда агрегатов автомобиля, снижает расход топлива и материалов.

1.5.2. ТЕПЛОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

В настоящее время ведутся разработки по замене электрогенератора термоэлектрическим (топливным) элементом, получающим тепловую энергию от сжигания бензина или другого углеводородного продукта. Топливные элементы уже применялись в автомобиле, но низкий КПД и использование дорогих материалов в элементах не позволили им выдержать конкуренцию с электрогенераторами. Технический прогресс решил многие задачи, и теперь топливные элементы могут полностью вытеснить из конструкций автомобиля электрогенератор.

Электрогенератор автомобиля при нагрузке отбирает у двигателя часть механической энергии и увеличивает расход бензина. КПД преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию, а затем в механическую в ДВС с последующим преобразованием механической энергии в электрическую в электрогенераторе значительно ниже, чем у топливного элемента, в котором химическая энергия топлива преобразуется в тепловую, а затем — сразу в электрическую. Следовательно, для получения одной и той же электрической мощности в последнем случае будет израсходовано меньше топлива. При этом топливный элемент работает независимо от двигателя и способен обеспечивать потребителей электроэнергией как во время движения, так и на стоянке в течение продолжительного времени. Это значит, что в машине на стоянке можно использовать любое современное электрооборудование бытового, информационного, развлекательного и технического характера. Управляющими воздействиями в такой термоэлектрической энергетической установке являются температура в камере сгорания и расход топлива. Система управления параметрами электроснабжения также будет отличаться от традиционных регуляторов.

1.6. ДИСТАНЦИОННАЯ КОМАНДНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Для управления электроснабжением потребителей в автомобиле используются командные системы управления. С помощью органов управления, размещенных на приборной панели или в других легкодоступных местах, коммутируются силовые цепи электрической сети. Увеличение числа потребителей и удаление их от источника электроэнергии обусловили необходимость оп-

тимизации электросети и упрощения управления распределением электроэнергии. Эта задача решается путем использования систем дистанционного управления с единым каналом связи с уплотнением и разделением линий. Они строятся с применением логических (цифровых) элементов. Для коммутации нескольких источников информации на один канал используются коммутаторы. Коммутаторы квантованных сигналов с использованием адресации каналов в виде двоичных кодов называются мультиплексорами. Обратная задача решается с помощью дешифраторов и демультиплексоров. Для преобразования цифровых кодов из одного вида в другой используются шифраторы.

Применение дистанционных командных систем управления для распределения электрической энергии в бортовой сети автомобиля сокращает число силовых электрических линий, линий связи и упрощает систему электроснабжения (рис. 1.15). Такие системы позволяют для передачи командной информации исключить медные провода и использовать оптоволоконные линии связи.

В такой системе прокладывается одна силовая линия электроснабжения, соединяющая источник тока с монтажным блоком, размещенным в непосредственной близости от потребителей $R1-RN$. Команды управления передаются по общему каналу связи. В монтажном блоке размещаются реле $K1-KN$, с помощью которых производится подключение потребителей к источнику. Органы управления $SA1-SAN$ с шифратором $DD1$ размещаются на панели управления. N двоичных сигналов, снимаемых с органов управления и представленных единичным кодом, преобразуются в $DD1$ в n -разрядный двоичный код, где $n = \lg N$. Этот код по n линиям связи параллельного канала передается на дешифратор $DD2$. На приемной стороне по переданному адресу выбирается реле потребителя и производится включение. Так как по линии данных передается сигнал на включение (логическая «1»), он может быть подключен постоянно к шине питания.

Число цифровых линий может быть уменьшено до одной при использовании последовательного канала связи, для этого необходимо усложнить устройство управления канала связи.

Задача усложняется при одновременном включении потребителей. При большом числе потребителей и возможности их одновременного включения можно использовать канал связи с мультиплексором, демультиплексором, одной линией электроснабжения и одной магистралью управления.

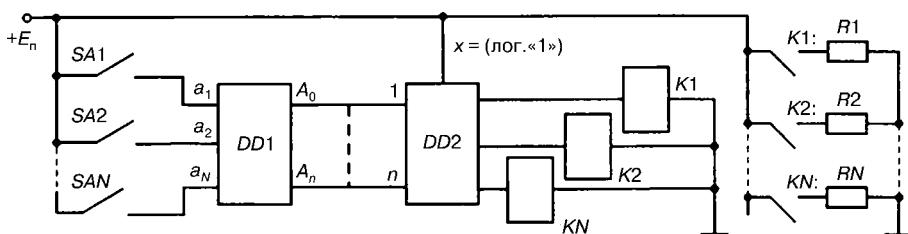


Рис. 1.15
Структурная схема дистанционной
командной системы управления электроснабжением

В ряде случаев можно добиться определенного положительного эффекта при применении более простых последовательных каналов связи.

Принципиальная схема включения фар, указателей поворотов и аварийной сигнализации с дистанционным управлением приведена на рис. 1.16.

Напряжение от генераторной установки через выключатель *SA1* (выключатель зажигания) подводится к общей силовой шине, которая проложена по всему автомобилю. Ближний и дальний свет фар включается с помощью выключателя света *SA2* и переключателя света фар *SA3*. Независимо от *SA2* можно включить дальний свет фар кнопкой *SB1*. Указатели поворота правого или левого борта включаются переключателем *SA4*. В режиме аварийной сигнализации выключателем *SA5* включаются все указатели поворота. Для формирования двухпозиционных сигналов, соответствующих уровням применяемых микросхем, использованы согласующие резисторы *R1–R4*.

Сигналы с переключателей по четырем линиям поступают на входы *D1–D4* сдвигающего регистра *RG* → (микросхема *DD3*). Сигналы с *SA4* и *SA5* поступают на входы *D3*, *D4* через схемы ИЛИ (микросхемы *DD1.1* и *DD1.2*). Четырехразрядный код, отражающий состояние выключателей, сдвигается через выход *Q4* на вход линии связи ЛС и далее на входы *DS* сдвигающих регистров *RG* →, выполненных на микросхемах *DD5* и *DD6*, размещенных в переднем и заднем монтажных блоках автомобиля. С выходов сдвигающих регистров четырехразрядные коды соответственно переписываются в регистры памяти *DD7*, *DD8*. С выхода *Q2*, *Q3* *DD7* сигнальные провода подключаются через соответствующие транзисторные ключи ТК к блок-фарам *HL4*, *HL5*. С выходов *Q1*, *Q3* *DD7* сигнальные провода соответственно через ТК и схемы И (микросхема *DD10*) подключаются к передним *HL3*, *HL6* и боковым *HL2*, *HL7* указателям поворота правого и левого бортов. С выходов *Q1*, *Q3* *DD8* сигнальные провода подключаются через соответствующие транзисторные ключи и схемы И (микросхема *DD11*) к задним указателям поворота правого *HL8* и левого *HL9*. Мигание ламп указателей поворотов обеспечивается работой мультивибраторов *G* (микросхемы *DD9*, *DD12*). Работа мультивибраторов прерывает сигнал на время паузы, чем обеспечивается мигающий свет указателей поворота.

Лампа аварийной сигнализации подключается к *SA5*. Сигналы управления на сдвиг и запись информации для сдвигающихся регистров и регистров памяти формируются устройством управления, выполненным по схеме кольцевого счетчика на сдвигающем регистре *RG* → (микросхема *DD4*). Синхронизация работы всех элементов устройства осуществляется генератором *G* (микросхема *DD2*). Для устранения сбоев в кольцевом счетчике *DD3* в конце каждого цикла работы по сигналу *Q4* с его выхода, поступающему на вход *PE*, он сбрасывается в ноль путем занесения кода «0000» по входам *D1–D4*. Сигналом с выхода *Q4* кольцевого счетчика *DD4*, поступающим на вход *PE* сдвигающего регистра *DD3*, код состояния переключателей записывается в сдвигающий регистр *DD3*. Этим же сигналом коды из регистров *DD5*, *DD6* переписываются в регистры памяти *DD7*, *DD8*.

Для питания электронных устройств используются стабилизаторы второй ступени стабилизации СТ2С1–СТ2С3.

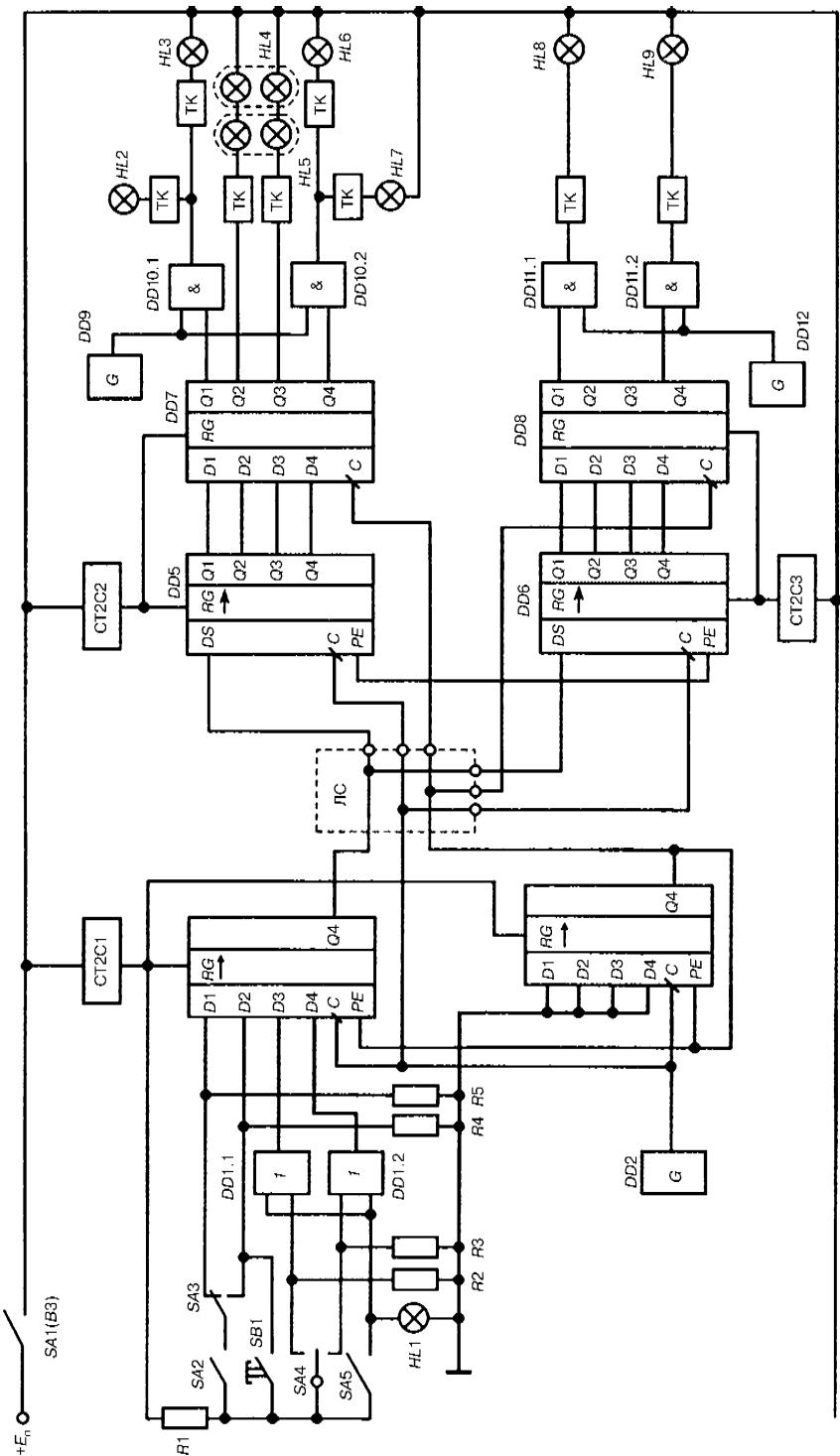


Рис. 1.16
Схема дистанционного включения фар, указателей поворотов и аварийной сигнализации

1.7. ВТОРИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Для надежной и качественной работы современных устройств управления, измерения, контроля и диагностики, а также радиосистем, компьютеров и другой электронной техники стабильность выходного напряжения, которую обеспечивают регуляторы напряжения генераторной установки автомобиля, недостаточна, а пульсации велики. Поэтому для питания электронных устройств на автомобиле приходится применять стабилизаторы второй ступени стабилизации (вторичные источники питания). Они также необходимы и для понижения напряжения питания ряда технических устройств.

Самыми простыми являются параметрические стабилизаторы, в них используется свойство кремниевых стабилитронов поддерживать напряжение в определенных пределах при широком диапазоне изменения тока.

Напряжение стабилизации стабилитрона может быть найдено из выражения

$$U_{ct} = U_{0ct} + R_{ct}I_{ct}, \quad (1.16)$$

где U_{0ct} — пороговое напряжение стабилитрона при минимальном токе.

Основными параметрами кремниевых стабилитронов являются:

- $U_{ct\ .nom}$ — номинальное значение напряжения стабилитронов при заданном номинальном значении тока стабилизации;
- $I_{ct\ min}$ — минимальное значение тока стабилизации, допустимое при работе в режиме стабилизации;
- $I_{ct\ max}$ — максимальное значение тока стабилизации, обеспечивающее заданную надежность при длительной работе;
- $R_{ct} = \frac{U_{ct1} - U_{ct2}}{I_{ct1} - I_{ct2}}$ — динамическое (дифференциальное) сопротивление стабилитрона;
- α_n — температурный коэффициент напряжения (ТКН), определяемый при постоянном значении тока стабилизации;
- P_{max} — максимально допустимая мощность рассеивания при заданной температуре окружающей среды.

Кремниевые стабилитроны выпускаются на напряжение стабилизации от 5 до 400 В и мощностью от 0,25 до 50 Вт. Величины $U_{ct\ .nom}$ и R_{ct} в справочниках приводятся для определенного значения тока стабилизации $I_{ct\ .n}$. Зная их, можно определить пороговое напряжение стабилитрона:

$$U_{0ct} = U_{ct\ .nom} - R_{ct}I_{ct\ .n}.$$

Влияние температуры перехода стабилитрона на напряжение стабилизации (температурную погрешность) можно оценить с помощью ТКН, который определяется выражениями:

— для абсолютного ТКН:

$$\alpha_{abc} = \frac{U_{ct1} - U_{ct2}}{T_1 - T_2}, \quad (1.17a)$$

— для относительного ТКН:

$$\alpha_{\text{отн}} = \frac{U_{\text{ст}1} - U_{\text{ст}2}}{U_{\text{ст}}(T_1 - T_2)}. \quad (1.176)$$

При выборе стабилитрона для схемы стабилизатора накладываются ограничения по минимальному и максимальному токам и допустимой рассеиваемой мощности.

Динамическое сопротивление и ТКН зависят от напряжения стабилизации, при этом у стабилитронов с низким напряжением стабилизации ТКН отрицателен.

Путем подбора переходов с противоположными по знаку ТКН удается получить стабилизаторы с высоким ТКН.

Принципиальная схема стабилизатора постоянного напряжения приведена на рис. 1.17.

Основными параметрами стабилизатора являются:

- выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, или напряжение на нагрузке стабилизатора $U_{\text{н}} = U_{\text{ст}} \pm \Delta U_{\text{вых}}$, или выходной ток (ток нагрузки) $I_{\text{н}} = I_{\text{ст}}$;
- нестабильность (изменение) входного напряжения $\Delta U_{\text{вх}}$ или $U_{\text{н}1}, U_{\text{н}2}, U_{\text{вх}1}, U_{\text{вх}2}$;
- сопротивление нагрузки стабилизатора $R_{\text{н}} = U_{\text{ст}}/I_{\text{ст}}$.

При расчете схемы определяются значения резистора R и параметры стабилитрона VD $U_{0\text{ст}}$ и $R_{\text{ст}}$. Изменение $U_{\text{вх}1}, U_{\text{вх}2}, R_{\text{н}}$ и изменения напряжения на нагрузке $U_{\text{н}1}, U_{\text{н}2}$ должны быть заданы. Для приведенной на рис. 1.17 схемы стабилизатора можно записать:

$$\begin{aligned} U_{\text{вх}1} &= (I_1 + I_{\text{ст}1})R + I_1 R_{\text{н}}; \\ U_{\text{вх}1} &= (I_1 + I_{\text{ст}1})R + U_{0\text{ст}} + I_{\text{ст}1}R_{\text{ст}}; \\ U_{\text{вх}2} &= (I_2 + I_{\text{ст}2})R + I_2 R_{\text{н}}; \\ U_{\text{вх}2} &= (I_2 + I_{\text{ст}2})R + U_{0\text{ст}} + I_{\text{ст}2}R_{\text{ст}}. \end{aligned}$$

В данных уравнениях известными величинами являются $U_{\text{вх}1}, U_{\text{вх}2}, U_{\text{н}1}, U_{\text{н}2}, R_{\text{н}}, I_1 = U_{\text{н}1}/R_{\text{н}}, I_2 = U_{\text{н}2}/R_{\text{н}}$; неизвестными — $R, U_{0\text{ст}}, R_{\text{ст}}, I_{\text{ст}1}, I_{\text{ст}2}$.

Если для решения задачи можно составить четыре уравнения с пятью неизвестными, то такая задача является неопределенной. Для решения подобных задач в математике разработан ряд методов, например метод линейного программирования.

Рассматриваемую задачу можно упростить, если выбрать стабилитрон, удовлетворяющий неравенству $U_{\text{н}1} < U_{0\text{ст}} < U_{\text{вх}1}$. Тогда становятся известными $U_{0\text{ст}}$ и $R_{\text{ст}}$. Теперь, решая систему уравнений, определяют $R, I_{\text{ст}1}, I_{\text{ст}2}$.

Если можно выбрать несколько стабилитронов, удовлетворяющих условию $U_{\text{н}1} < U_{0\text{ст}} < U_{\text{вх}1}$, становится актуальной оптимизация параметров элементов схемы стабилизатора. Для стабилизатора это будет обеспечение минимума потребляемой мощности или заданной стабильности.

Основные параметры схемы стабилизатора можно определить из следующих выражений:

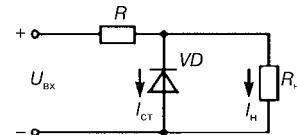


Рис. 1.17
Схема стабилизатора напряжения

$I_{\text{bx}} = I_{\text{ct}} + I_{\text{h1}}$, $U_{\text{bx}} = U_{\text{h}} + RI_{\text{bx}}$ — ток и входное напряжение;

$k_{\text{ct}} = \left(1 - \frac{RI_{\text{bx}}}{U_{\text{bx}}}\right) \frac{R + R_{\text{ct}}}{R_{\text{ct}}}$ — коэффициент стабилизации;

$\Delta U_{\text{h}} = \frac{U_{\text{bx}2} - U_{\text{bx}1}}{k_{\text{ct}} U_{\text{bx}}}$ — нестабильность выходного напряжения.

Полную мощность, рассеиваемую в элементах стабилизатора, находят из соотношения

$$P_{\Sigma} = (I_1 + I_{\text{ct}2})^2 R + U_{0\text{ct}} I_{\text{ct}2} + I_{\text{ct}2}^2 R_{\text{ct}}.$$

Повысить качество стабилизации напряжения на второй ступени можно с помощью стабилизаторов на основе ОУ (рис. 1.18).

Такие однополярные стабилизаторы могут быть построены по схеме инвертирующего или неинвертирующего усилителя, на вход которого подано стабильное напряжение от опорного источника. Их достоинством является возможность получения различных по абсолютному значению и знаку стабилизованных напряжений при неизменном опорном напряжении.

В стабилизаторе (рис. 1.18a) ОУ включается в схему неинвертирующего усилителя, на вход которого подается опорное напряжение $U_{0\text{ct}}$ с параметрического стабилизатора, включающего $R1$ и VD . Для увеличения выходного тока стабилизатора используется повторитель напряжения на VT (он может отсутствовать, если выходной ток стабилизатора менее 5 мА). Выходное напряжение можно рассчитать по формуле

$$U_{\text{h}} = U_{0\text{ct}} \left(\frac{R2}{R3} + 1 \right). \quad (1.18)$$

Расчет таких стабилизаторов приводится в справочной литературе по источникам питания электронных устройств.

С точки зрения теории автоматического управления рассматриваемый стабилизатор представляет собой классическую систему автоматического регулирования, полностью выполненную на электронных элементах. Функции датчика выполняет делитель напряжения на $R2$ и $R3$, задающего устройства — VD , устройства сравнения и устройства управления — операци-

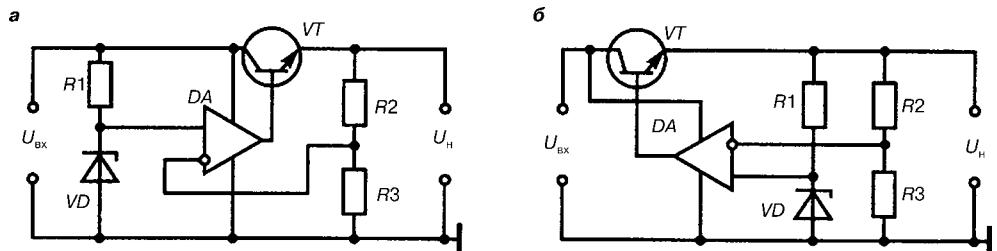


Рис. 1.18
Схемы стабилизаторов напряжения на основе операционного усилителя:
a, б — соответственно со стабилитроном на входе и выходе.

онный усилитель DA , регулирующего органа — VT . Выходной величиной является $U_{\text{н}}$, а напряжение на входе $U_{\text{вх}}$ является напряжением питания. Его изменения являются возмущающими воздействиями.

С целью увеличить стабильность опорного напряжения можно подключать параметрический стабилизатор $R1, VD$ не к входу, а к выходу стабилизатора (рис. 1.18б). В этом случае ток, протекающий через VD , не зависит от входного напряжения.

Значения параметров стабилитронов (напряжение стабилизации $U_{0\text{ст}}$, протекающий через стабилитрон ток $I_{\text{ст}}$, при котором обеспечивается точная стабилизация и ТКН, дифференциальное сопротивление стабилитрона $R_{\text{ст}}$ при определенном токе $I_{\text{ст}}$ и допустимая мощность $P_{\text{доп}}$ при заданной температуре T) приведены в справочниках по электронным элементам.

На современном этапе развития микроэлектроники основные элементы стабилизаторов до 30 В интегрируются в одну микросхему. Такие микросхемы, изготавливаемые по полупроводниковой технологии, называются интегральными стабилизаторами (ИС). В настоящее время выпускаются ИС трех видов для источников питания с напряжением:

- с регулируемым выходным (142ЕН1, 142ЕН2, 142ЕН3, 142ЕН4, 142ЕН10);
- с фиксированным, которое можно изменять с помощью внешнего делителя напряжения (142ЕН6);
- с фиксированным выходным (142ЕН5, 142ЕН8, 142ЕН9).

Достоинство полупроводниковых стабилизаторов заключается в повышенной стабилизации выходного напряжения в широком диапазоне температур при изменении нагрузки и входного напряжения (напряжения питания). ИС с фиксированным выходным напряжением имеют малое количество выводов и не требуют дополнительных внешних компонентов.

ИС серии 142 имеют встроенную схему защиты от выхода из строя при коротком замыкании нагрузки. Для регулировки выходного напряжения в стабилизаторе применяется делитель напряжения. Основные их параметры приведены в справочниках по интегральным схемам.

Типовые схемы включения ИС в общую схему стабилизатора напряжения приведены на рис. 1.19.

На схемах $R1$ выполняет функции датчика тока перегрузки стабилизатора. Для стабилизаторов К142ЕН3 (ЕН4) сопротивление этого резистора определяется по формуле

$$R1 = \frac{1,25 - 0,5I_z - 0,023(U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}})}{I_z}, \quad (1.19)$$

где I_z — заданный ток, при котором срабатывает защита.

$R5$ устанавливает уровень срабатывания тепловой защиты стабилизаторов ЕН3 и ЕН4. Его сопротивление определяют по формуле

$$R5 = \frac{0,037(T_{\text{корп}} - 273) - 6,65}{1 - 0,0155(T_{\text{корп}} - 273)}, \quad (1.20)$$

где $T_{\text{корп}}$ — температура корпуса, при которой срабатывает защита (максимально допустимое значение — 403 К).

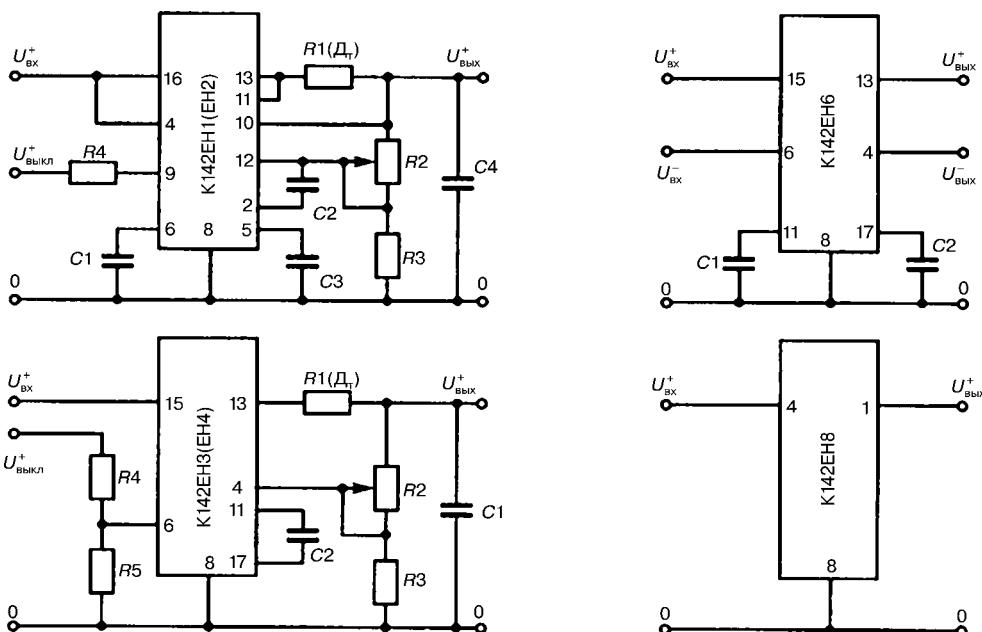


Рис. 1.19
Типовые схемы включения интегральных стабилизаторов

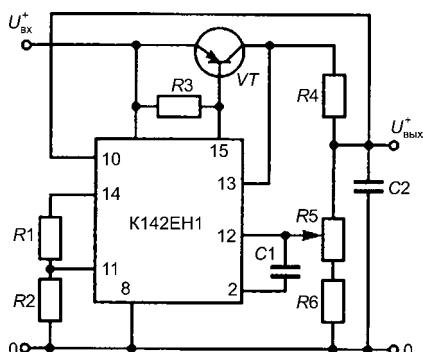


Рис. 1.20
Стабилизатор
с повышенным выходным током

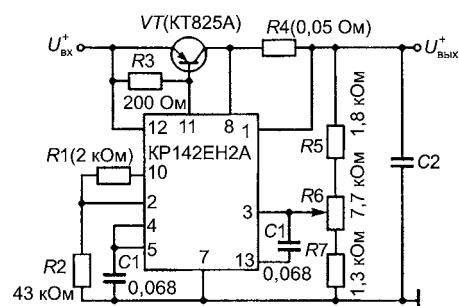


Рис. 1.21
Схема стабилизатора на напряжение 5 В

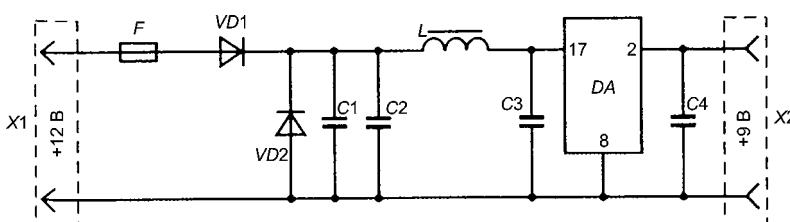


Рис. 1.22
Принципиальная схема вторичного источника питания

R_4 ограничивает ток, получаемый от источника напряжения $U_{\text{выкл}}^+$, производящего выключение стабилизатора.

При необходимости увеличения выходного тока применяется внешний каскад усиления на транзисторе.

Схема стабилизатора с повышенным выходным током приведена на рис. 1.20.

Его величину можно определить из уравнения

$$I_{\text{вых max}} = I_{\text{вых ст}} B_{\text{ст}},$$

где $I_{\text{вых ст}}$ — выходной ток интегрального стабилизатора; $B_{\text{ст}}$ — коэффициент усиления по току транзистора.

Практические схемы стабилизаторов напряжения вторичных источников питания с использованием ИС на напряжения 5 и 9 В приведены соответственно на рис. 1.21 и 1.22.

Кроме пульсаций напряжения, связанных с работой выпрямителя генератора и регулятора, в бортовой сети автомобиля могут присутствовать импульсные напряжения разной полярности. Предельные значения амплитуды импульсов, устанавливаемые нормативными документами, в зависимости от длительности импульса могут изменяться от 6 до 42 В. В ряде нештатных режимов пики напряжения могут возрастать до 150 В.

Большинство современных информационных систем и систем автоматического управления не могут работать от источника питания с такими показателями. Кроме того, их электронная элементная база требует источников питания с номинальными значениями, отличными от параметров бортовой сети автомобиля. Таким образом, в автомобиле необходимы дополнительные источники питания с повышенными параметрами по стабилизации, пульсации и подавлению импульсных помех. Эти задачи решаются традиционными способами, хорошо известными в радиотехнике, а именно:

- для ограничения импульсных помех на допустимом уровне используют ограничители, самыми простыми из которых являются диодные ограничители;
- для уменьшения пульсаций и периодически следующих импульсов применяют всевозможные фильтры с различными полосами фильтрации;
- для повышения стабилизации выходного напряжения и обеспечения его требуемого номинального значения применяются стабилизаторы второго уровня.

На рис. 1.22 представлена принципиальная схема источника питания со стабилизатором второго уровня, выполненным на интегральном стабилизаторе КР142ЕН8А, обеспечивающая на выходе напряжение питания +9 В при токе нагрузки до 1 А. На входе устройства стоит ограничитель амплитуды импульсных помех, выполненный на диодах $VD1$ и $VD2$. Для сглаживания напряжения и фильтрации помех используется LC -фильтр, состоящий из емкостей $C2$, $C3$ и индуктивности L . Конденсатор $C1$ предназначается для ослабления коротких импульсов. Применяемая в стабилизаторе микросхема имеет встроенную защиту, которая срабатывает при превышении током нагрузки значения 1 А.

Перечень элементов вторичного источника питания

№ п/п	Позиционное обозначение	Наименование	Количество мест	Примечание
1	<i>C1</i>	Конденсатор К73-9-0,1-20	1	
2	<i>C2, C3</i>	Конденсатор К50-35-470-25	2	
3	<i>C4</i>	Конденсатор К50-35-220-16	1	
4	<i>L</i>	Дроссель	1	
5	<i>VD1, VD2</i>	Диод Д212А	2	
6	<i>F</i>	Предохранитель	1	
7	<i>DA</i>	Микросхема КР142ЕН8А	1	
8	<i>X1</i>	Разъем		Штыри
9	<i>X2</i>	Разъем		Гнезда

В табл. 1.1 приведен перечень приборов и элементов, используемых в источнике питания.

Подключение вторичного источника питания к сети осуществляется через разъем *X1*. При отключенном разъеме на нем нет напряжения, поэтому контактами разъема должны быть штыри. Подключение к нагрузке осуществляется разъемом *X2*. При отключении ответного разъема на розетке остается напряжение, поэтому в *X2* должны быть гнезда.

Индуктивность дросселя определяется при расчете фильтра. Для стабилизации напряжения +12 В можно применить микросхему 142ЕН8Б, а для стабилизации напряжения +24 В — микросхему 142ЕН9Б.

2

ДАТЧИКОВАЯ АППАРАТУРА И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

2.1. ДАТЧИКОВАЯ АППАРАТУРА

Датчиковая аппаратура, входящая в состав микроконтроллера, представляет собой комплекс измерительных преобразователей, обеспечивающих сбор, обработку и ввод в микропроцессор информации о состоянии двигателя, условиях его работы и контролируемых возмущающих воздействиях.

В современных системах управления входная информация поступает от датчиков трех типов: аналоговых, импульсных и релейных. Так как цифровой элемент (микропроцессор) не может обрабатывать аналоговые сигналы и, кроме того, учитывая, что характеристики датчиков зачастую нелинейны, на входе в блок управления (БУ) устанавливаются аналого-цифровые преобразователи (АЦП), кодовые выходные сигналы которых наиболее просто линеаризуются в микропроцессоре.

В последнее время все большее распространение получают «интеллектуальные датчики», имеющие собственные встроенные микропроцессорные устройства для первичной обработки сигнала (например, для аналого-цифрового преобразования), амплитудно-частотного анализа, интегрирования или внесения поправок с учетом собственных характеристик. Использование таких датчиков не только разгружает работу центрального процессора, но и повышает надежность работы системы: при передаче кодированной информации вместо первичного сигнала датчика увеличивается помехозащищенность системы.

Указанные датчики необходимы еще и в связи с возрастающим применением бортовых компьютерных и оптико-электронных систем связи (мультиплексных). Датчики, подключаемые к микроконтроллеру такими системами, должны иметь цифровой выход, т. е. содержать весь комплекс преобразовательных и вспомогательных устройств. В настоящее время «интеллектуальные» функции частично

выполняются и в обычных датчиках, например со стандартизованным аналоговым выходом. Расширение применения «интеллектуальных датчиков» в системах управления двигателей автомобилей очевидно.

Всю номенклатуру датчиков двигателей автомобилей можно разделить на две группы.

1. К функционально необходимым относятся датчики, без которых микронтроллер вообще не может обеспечить работу двигателя: положения коленчатого и/или распределительного валов, частоты вращения, содержания кислорода в отработанных газах (Х-зонд). К ним также могут быть отнесены датчики, информация от которых позволяет предотвратить аварии: давления смазочного масла, температур в системах смазки и охлаждения.

2. К дополнительным можно отнести датчики, используемые для некоторых задач адаптивного управления, например: расходов топлива и воздуха, давлений топлива в аккумуляторных системах дизелей и наддувочного воздуха. Очевидно, что установка на двигатель дополнительных датчиков увеличивает количество уязвимых элементов, что ведет к уменьшению надежности системы.

Одной из целей оптимизации аппаратной части и алгоритмов управления микронтроллера является минимизация числа используемых датчиков, прежде всего функционально необходимых.

Характерным примером современного «интеллектуального» датчика, предназначенного для использования в МПСУ двигателей, является датчик

высокого давления HVP 130 для аккумуляторных топливных систем двигателей, разработанный фирмой Integrated Sensor Solutions Inc. (рис. 2.1).

Кроме того, в конструкцию датчика включена электронная система стабилизации характеристик, диагностирования и защиты (ASIS). В качестве чувствительного элемента используется гибкая диафрагма из нержавеющей стали, на которой размещены полисиликоновые сопротивления (тензодатчики), соединенные по мостовой схеме. Они напыляются на слой диоксида кремния (SiO_2), нанесенный в качестве изолятора на поверхность диафрагмы. Оптимальное размещение тензодатчиков на поверхности диафрагмы обеспечивается с помощью полилитографического процесса. Электрические контакты выполнены металлизацией золотом, наружное защитное покрытие — из нитрида кремния.

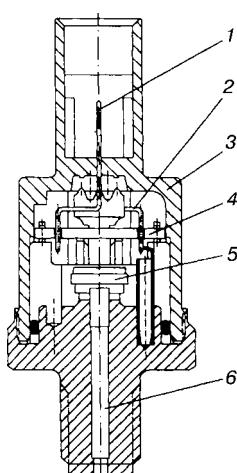


Рис. 2.1

Схема датчика высокого давления топлива HVP 130:

1 — контактный разъем; 2 — соединительные провода; 3 — составной корпус датчика; 4 — система ASIS; 5 — чувствительный элемент; 6 — канал подвода топлива.

Под воздействием давления на диафрагму датчика она деформируется, изменяется электрическое сопротивление тензодатчиков и происходит разбалансировка моста. При неизменном напряжении питания моста напряжение разбалансировки моста пропорционально давлению топлива.

Чувствительные элементы неизбежно имеют разброс параметров. С целью внести индивидуальные корректи-

ровки для каждого отдельного датчика используется электронная система ASIS, компенсирующая погрешности датчика и электронной части. Выходной сигнал датчика корректируется изменением коэффициентов, складываемых в интегральные микросхемы при производстве датчика. Кроме того, система ASIS выполняет следующие функции диагностирования и защиты:

- обрыв в цепи напряжения питания;
- обрыв в цепи «массы»;
- повышенное напряжение питания;
- обратная полярность напряжения питания;
- замыкание цепи «массы» на аккумуляторную батарею;
- замыкание цепи выходного сигнала на напряжение питания, аккумуляторную батарею или «массу».

Система ASIS сообщает микроконтроллеру о выявленных неисправностях датчика. Технические характеристики датчика HVP 130: рабочий диапазон измеряемых давлений от 0 до 150 МПа, максимально допускаемое давление — 300 МПа, рабочий диапазон температур от -40 до $+150^{\circ}\text{C}$, выходной сигнал в диапазоне от 10 до 90% от напряжения питания.

Погрешность датчика складывается из множества составляющих, в том числе: ошибка калибровки, нелинейность характеристики, нестабильность сигнала, гистерезис характеристики, изменение температуры и временной дрейф. Фирма-производитель датчика HVP 130 не опубликовала данные: погрешность измерения — более 2,5%; на концах температурного диапазона погрешность достигает 3,5%. Такая точность измерения высоких давлений топлива достаточна для МПСУ двигателями.

2.2. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Реализация управления работой двигателя и его систем осуществляется с помощью исполнительных устройств. Чаще это преобразователи электрического управляющего сигнала микроконтроллера в перемещение, давление, расход жидкости или газа.

Исполнительные устройства могут быть как импульсного, так и непрерывного (аналогового) действия. В случае использования аналоговых исполнительных устройств цифровой сигнал на выходе микроконтроллера должен быть преобразован цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП), который возможно разместить на выходе из микропроцессора, или совмещен непосредственно с исполнительным устройством либо его электронным усилителем.

Исполнительные устройства по виду преобразования входного управляющего электрического сигнала в выходное воздействие на агрегаты и системы двигателя могут быть электромеханическими, электрогидравлическими и электропневматическими.

Реализуемость и эффективность электронных систем двигателя предопределются номенклатурой и характеристиками используемых преобразо-

вателей. Поскольку исполнительные преобразователи тесным образом связаны со схемами и параметрами электроуправляемых систем, они должны быть созданы с учетом специфики их работы на двигателях.

Часто преобразователь состоит из нескольких последовательно действующих преобразователей, изменяющих характер и уровень сигнала. Для создания промежуточных и выходных сигналов преобразователей и их усиления используются источники энергии двигателя и его систем.

2.2.1. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

У большинства исполнительных устройств МПСУ двигателей, особенно во входной их части, применяются электромеханические преобразователи. В электронных системах двигателей используют непрерывные или импульсные электрические управляющие сигналы, а также их сочетания. Соответственно и электромеханические преобразователи могут быть непрерывного или импульсного действия.

Электромеханические преобразователи непрерывного действия чаще всего представляют собой пропорциональные электромагниты либо электродвигатели. По принципам действия и конструкции исполнительные электродвигатели МПСУ мало чем отличаются от традиционно используемых в электрических системах автомобилей. Это электродвигатели постоянного тока или шаговые, управляемые импульсными сигналами, но частота и фаза этих импульсов не связаны с частотой и фазой вращения двигателя, а выходной сигнал — перемещение — воспринимается системами двигателя как непрерывный.

Электромагниты достаточно компактны и легко вписываются в любую конструкцию. Они могут быть заведомо более быстродействующими, чем электродвигатели, но при отключении управляющего воздействия возвращаются в исходное положение. Электродвигатель при отключении остается в том же положении.

Электродвигателю требуется время для выхода в требуемое положение и датчик положения, чтобы определить, до какого положения он дошел, или необходимо применять шаговый электродвигатель.

Электромеханические импульсные преобразователи для электронных систем двигателя достаточно разнообразны, но практическое применение нашли преобразователи релейного действия. Релейная характеристика имеет два устойчивых положения преобразователя: «включено» и «выключено» либо три: «включено в одну сторону», «выключено» и «включено в другую сторону».

2.2.2. ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

Электромагниты, достаточно широко применяемые в автомобилях, представляют собой обычные соленоиды, состоящие из неподвижного магнитопровода и подвижного якоря, выполненных из ферромагнетиков, и обмотки.

Соленоиды, например для топливных систем, обеспечивают быстродействие (время срабатывания) 0,1 мс при ходе якоря не более 0,5 мм и электромагнитной силе не более 100 Н.

Основной недостаток электромагнитов-соленоидов — невозможность увеличения электромагнитной силы без преобладающего роста габаритов и инерции из-за эффекта насыщения ферромагнитных материалов магнитопроводов.

ГЕЛЕНОИДЫ

Чаще всего конструктивные средства повышения эффективности электромагнитов по величинам развиваемой электромагнитной силы и быстродействию представляют собой попытки увеличения площади рабочих воздушных зазоров при максимальном снижении размеров частей магнитов, подводящих магнитный поток к рабочему воздушному зазору. Примером таких решений служат электромагниты в виде геленоидов (рис. 2.2).

Обмотка геленоида 2 представляет собой две одинаковые спиральные части, расположенные на одной оси и смешенные вдоль нее относительно друг друга на половину шага обмотки, так что витки одной части располагаются в середине промежутка между витками другой. С одной стороны конечные витки первой части соединены с конечными витками другой. Поэтому при подключении оставшихся свободных концов обмотки к источнику тока этот ток последовательно обходит сначала витки одной части, а затем другой. При этом оказывается, что в ряду расположенных и чередующихся витках разных частей обмотки направление тока различное.

Магнитопровод геленоида состоит из двух соосных цилиндров из низкоуглеродистой стали с наружной спиральной нарезкой на внутреннем неподвижном сердечнике 3, согласующейся с внутренней, также спиральной нарезкой на наружном подвижном якоре 1. Первая часть обмотки уложена в одну канавку сердечника, а вторая — в другую. Как видно из рис. 2.2, противоположное направление тока в соседних витках приводит к тому, что в каждом гребне нарезки сердечника магнитные потоки, создаваемые токами

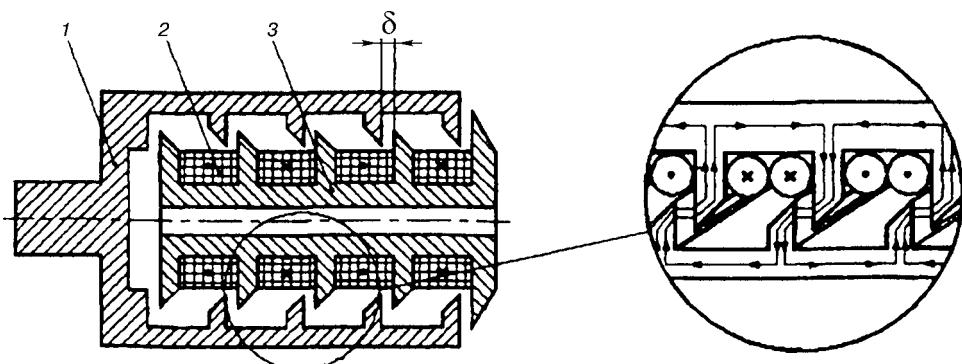


Рис. 2.2
Схемы электромагнита геленоида:

1 — подвижный якорь; 2 — обмотка; 3 — сердечник; δ — рабочий воздушный зазор.

в соседних частях обмотки, суммируются. Рабочий воздушный зазор геленоида представляет собой две винтовые спирали между гребнями нарезок сердечника и якоря. Длины всех элементарных магнитных потоков минимальны.

Для увеличения электромагнитной силы геленоида общая площадь рабочего воздушного зазора может быть увеличена за счет удлинения при сохранении радиальных размеров, что очень удобно для встраивания в наиболее компактные агрегаты, включая электрогидравлические форсунки.

На рис. 2.2 показан геленоид тянувшего исполнения, якорь движется в сторону заделки сердечника, но сменой профиля полюсов он может быть сделан толкающим.

Сpirальные конструкции геленоида имеют существенно меньшие наружный диаметр и массу якоря при значительно большей площади воздушного зазора, что позволяет обеспечить чрезвычайно большие силы и быстродействие.

Исследовательская компания SGRD (Великобритания) провела испытания четырехцилиндрового двигателя «Триумф-TR 72-L», в котором восемь геленоидов заменили общеизвестный кулачковый привод клапанов верхним распределительным валом. Их длина — 170 мм, диаметр — 48 мм, перемещение якоря на 1 мм осуществляется за 4 мс. Рычаг увеличивает этот ход до 8 мм. Средняя мощность такого геленоида — 400 Вт, развиваемая сила — 5000 Н. Работая от батареи 48 В, они имеют начальный максимальный ток около 150 А, далее ток падает до 10 А.

Фирма разработала геленоиды и меньших размеров: от упомянутых до элементов длиной 24 мм с ходом 0,2 мм, создающих силу 47 Н и работающих при напряжении 12 В. Геленоиды компании SGRD при работе нуждаются в охлаждении.

Практически единственным недостатком геленоидов является наличие тангенциальной составляющей электромагнитной силы в рабочем зазоре, требующей специального механизма для исключения вращательных движений якоря. Как правило, это выражается ростом потерь в приводе, снижением точности, стабильности и надежности.

КОЛЕНОИДЫ

Более просты по конструктивному исполнению электромагниты типа коленоида, в которых полюса сердечника и якоря имеют форму колец, перпендикулярных оси привода, а секции обмотки, расположенные между полюсами сердечника, — форму обычных катушек (рис. 2.3).

Сердечник и якорь коленоида — конической формы, что позволяет свободно надевать якорь на сердечник с обмотками. Магнитные потоки, создаваемые соседними секциями обмоток, суммируются в полюсах аналогично геленоидам. Коленоиды могут развивать большие, чем геленоиды, силы при больших перемещениях. Но их радиальные размеры и масса якоря больше, чем у геленоидов.

Для осуществления толкающего привода, так же как в соленоидах, необходимы промежуточные детали, передающие перемещение якоря нагрузке.

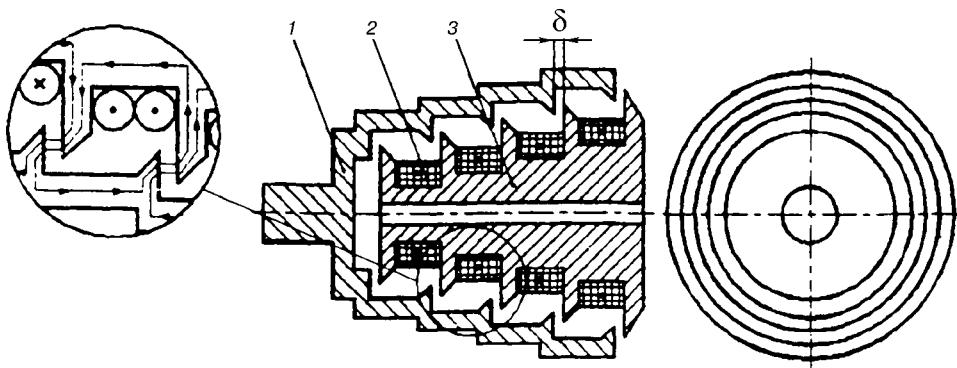


Рис. 2.3
Схемы электромагнита коленоида:

1 — подвижный якорь; 2 — обмотка; 3 — сердечник; δ — рабочий воздушный зазор.

Коленоиды нашли применение в электрически управляемых насос-форсунках дизелей ряда зарубежных фирм.

СЕКТОРОИДЫ

Для наиболее требовательных к габаритам электромагнитного привода электрогидравлических форсунок эффективны сектороиды — секционированные электромагниты с одинаковыми размерами секций магнитопроводов и обмоток. Упрощенная конструктивная схема сектороида представлена на рис. 2.4.

Якорь сектороида разделен по оси на две части, которые после установки в них неподвижного сердечника с обмотками соединяются, например, сваркой или соединительными деталями 4 и 5 в единое целое.

Направления намотки витков в секциях обмотки сектороида чередуются, поэтому в рядом расположенных секциях обмотки направление тока разное.

Магнитные потоки, создаваемые токами в соседних секциях обмотки, суммируются аналогично коленоидам. Площадь общего рабочего воздушного зазора сектороида представляет собой также сумму площадей воздушных

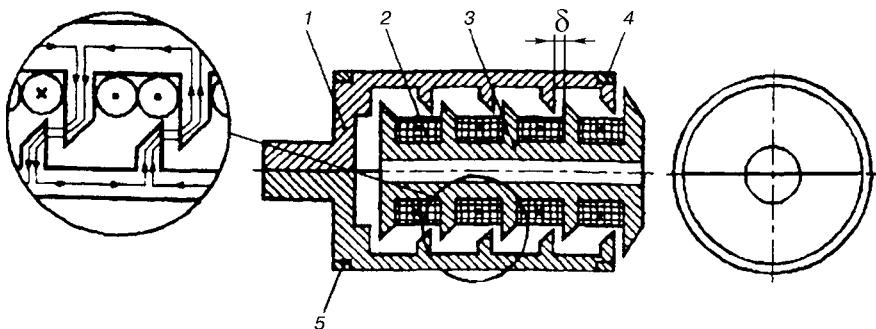


Рис. 2.4
Схемы электромагнита сектороида:

1 — подвижный якорь; 2 — обмотка; 3 — сердечник; 4, 5 — соединительные кольца; δ — рабочий воздушный зазор.

зазоров секций, но с уменьшенным диаметром обмоток секций сектороида. Иными словами, конструктивная схема сектороида оптимизирована по совокупности электрических и механических параметров, что позволяет создавать чрезвычайно большие силы и быстродействие при уменьшенных габаритах.

Переход от тянувшего исполнения к толкающему осуществляется в сектороидах аналогично геленоидам, сменой формы полюсов.

Немаловажно, что секционная конструкция позволяет создавать необходимую электромагнитную силу при ограниченном наружном диаметре сектороида наращиванием числа одинаковых оптимизированных по габаритам и энергопотреблению секций.

При одинаковых электромагнитных силах радиальные размеры и масса якоря сектороидов меньше, чем у коленоидов. Сектороиды не требуют исключения поворота якоря относительно оси, как геленоиды.

Разработаны варианты сектороидов, в которых суммируются перемещения отдельных секций.

Один из вариантов сектороида, выполненный из обычных магнитных материалов и обмоточных проводов, при наружном диаметре 24 мм и длине 60 мм развивает максимальную силу около 900 Н. При номинальном напряжении источника питания 24 В, ходе якоря до 0,5 мм и массе приводимого узла до 30 г время его срабатывания не превосходит 1 мс. Без принудительного охлаждения при частоте циклов 25 Гц, длительности импульсов 4 мс и номинальном напряжении источника питания установившаяся за 100 мин температура обмотки сектороида была 135°С при постоянной времени нагрева 12,2 мин.

В любых электромагнитах при одинаковых значениях тока в обмотке электромагнитная сила определяется магнитным потоком в рабочем зазоре. Величина этого потока зависит главным образом от магнитного сопротивления зазора δ , которое обратно пропорционально его величине. Поэтому форма зависимостей электромагнитной силы от величины зазора (тяговых характеристик) и близка к гиперболической.

На рис. 2.5 показаны тяговые характеристики сектороида с перечисленными выше параметрами в импульсном режиме с длительностями импульсов 2–4 мс и с различными амплитудами токов.

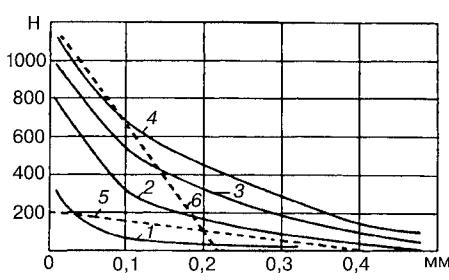


Рис. 2.5
Характеристика электромагнита сектороида:

1–4 — для амплитудных значений токов, равных 0,33, 0,66, 1,0, 1,33 от номинального соответственно; 5, 6 — характеристики пружин.

Сравнительно пологая и линейная форма характеристик получена за счет конического исполнения рабочих воздушных зазоров, образуемых взаимодействующими поверхностями полюсов якоря и статора. При этом величина зазора в направлении потока становится меньше хода якоря, площадь зазора увеличивается, следовательно, магнитное сопротивление зазора уменьшается, поток и электромагнитная сила увеличиваются. Такое исполнение применяют чаще всего для пропорциональных элек-

тромагнитов, но и у электромагнитов релейного действия увеличиваются начальная сила и плавность характеристики.

Сила, возвращающая якорь в исходное положение, обычно создается в электромагнитных приводах пружиной. В сектороидах возможно в этом случае использование упругости магнитопровода якоря. На рис. 2.5 показан пример характеристики пружины 5, обеспечивающей релейное срабатывание электромагнита, начиная с тока 0,66 от номинала. Движение якоря при срабатывании обеспечивается разностью электромагнитных сил, изменяющихся по кривой 2, а тем более — по кривым 3 и 4, и характеристикой пружины 5.

В большинстве электромагнитов электромагнитная сила с уменьшением зазора растет быстрее, чем сила пружины. При нулевом зазоре, когда якорь вплотную прилегает к полюсу сердечника, коэрцитивная сила, создаваемая даже оставшимся после выключения тока магнитным потоком, может удерживать якорь в притянутом состоянии, и возникает так называемый эффект залипания, который необходимо предотвращать.

На рис. 2.5 показан пример характеристики пружины 6 для пропорционального электромагнита. Эта линия пересекает тяговые характеристики. В точках пересечения силы электромагнита и пружины равны, и якорь останавливается. Точки равновесного положения якоря зависят от тока в обмотке: изменения ток, можно непрерывно управлять положением якоря.

В качестве конструктивного средства повышения эффективности могут использоваться сдвоенные электромагниты двойного действия. Электромагнитная сила второго электромагнита для первого служит возвращающей, заменяя или дополняя силу пружины. Пружина может быть нужна только для удержания якоря в исходном положении. Отсутствие или значительное ослабление пружины ускоряет срабатывание электромагнита. Возврат (отпадание) также может быть ускорен: сила возвращающего электромагнита может быть не меньше, чем у основного, т. е. заведомонейшей, чем у возвращающей пружины электромагнита одностороннего действия. Ускорение отпадания возможно достигнуть и путем включения возвращающего электромагнита, опережающего момент выключения основного.

К конструктивным средствам повышения эффективности можно отнести и использование в электромагнитах новых ферромагнитных материалов с повышенными магнитной проницаемостью, индукцией насыщения, электрическим сопротивлением для вихревых токов, уменьшенными коэрцитивной силой, гистерезисом и т. п. При массовом их применении этот путь может оказаться излишне дорогостоящим.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ

Даже при использовании перечисленных выше конструктивных средств совершенствования электромагнитов быстродействие, необходимое для управления характеристикой вспрыскивания в цилиндры двигателя топлива под высоким давлением, труднодостижимо. Целесообразно повышение эффективности электромагнитов алгоритмическими средствами. Они выражаются в управлении микроконтроллером параметрами электрических импульсов, подаваемых на электромагниты. Этот путь, безусловно, наиболее экономичен.

Процессы срабатывания электромагнита, изменение величины силы тока в обмотке и положения якоря с момента подачи на обмотку напряжения представлены на рис. 2.6; пунктиром показаны значения тока при искусственно заторможенном, лишенном возможности двигаться якоре.

Без учета насыщения магнита можно считать, что нарастание тока происходит по экспоненте с постоянной времени T . Установившиеся в конце процесса значения тока отмечены индексом « y ».

При свободном якоре, когда ток достигнет значения i_{tp} , электромагнитная сила на якоре превысит силы, противодействующие его движению, якорь тронется из исходного положения. В результате сокращения воздушного зазора при перемещении якоря уменьшается магнитное сопротивление зазора. Это создает дополнительное увеличение магнитного потока, что увеличивает э. д. с. самоиндукции, уменьшающую ток в обмотке. При выходе якоря на упор дополнительная э. д. с. прекращается и ток продолжает нарастание по экспоненте до тех же установленных значений.

Кривые в нижней части рис. 2.6 соответствуют напряжению, допустимо-му по нагреву обмотки за время включенного состояния электромагнита. Для этих кривых отмечены: время трогания якоря — t_{tp} , время движения — $t_{\text{дв}}$, время срабатывания — $t_{\text{ср}} = t_{\text{tp}} + t_{\text{дв}}$.

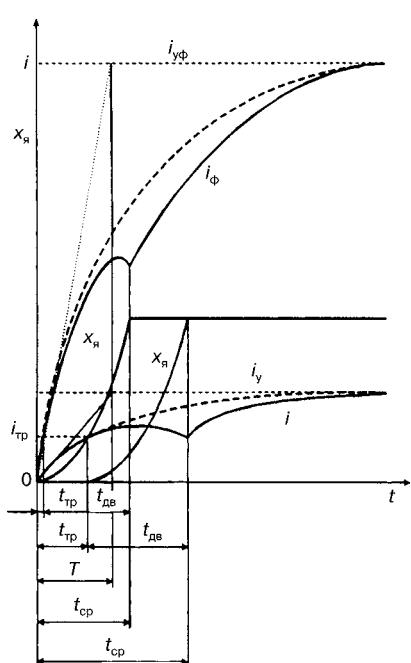


Рис. 2.6
Процессы срабатывания
электромагнита:

Сила тока: i_{tp} — при трогании якоря; i_y — установленвшееся значение. Время: t_{tp} — трогания якоря; $t_{\text{ср}}$ — срабатывания; x_a — положение якоря.

Для ускорения срабатывания на электромагнит подают повышенное напряжение, примерно в 5 раз больше, чем показано в нижней части рисунка. Реально кратность увеличения может быть и больше 10. Очевидно, что такое форсированное увеличение напряжения, а соответственно и тока, допустимо только на очень короткое время. Кривые и их временные параметры для форсированного напряжения отмечены индексом « ϕ ». На рисунке представлено, что инерционность процесса установления тока, оцениваемая постоянной времени T , не изменилась.

Из рис. 2.6 видно, что при повышенном напряжении время трогания значительно сокращается. Время движения также сокращается, хотя и в меньшей степени. В конкретных образцах электромагнитов соотношение этих сокращений может быть иным, но в любом случае уменьшение времени срабатывания и его составляющих безусловно.

Форсирование необходимо не более чем до выхода в окрестности упора. Практически целесообразен разгон якоря только до некоторой максимально достижимой ско-

рости. Эта скорость определяется соотношением электромагнитной силы и силы сопротивления движению. Электромагнитная сила, создаваемая током в обмотке, не может быть существенно выше значения, соответствующего неизбежному при форсировании выходу материала магнитопровода в насыщение. Сила сопротивления движению растет со скоростью якоря. Поэтому скорость якоря в конце хода постоянна и не зависит от дальнейшего нарастания тока. Микроконтроллер на этом интервале форсирования ограничивает уровень тока.

На рис. 2.7 показан типичный состав управляющего импульса форсированного электромагнита.

Напряжение и длительность форсирующего импульса отмечены индексом «ф». Максимальное значение тока в форсирующем импульсе, ограничиваемое микроконтроллером, обозначено $i_{\text{ор}}$. Дополнительное ускорение срабатывания может быть достигнуто подачей на электромагнит предваряющего импульса, который к моменту прихода форсирующего импульса создает в обмотке ток, меньший тока трогания, но достаточно близкий к нему. Параметры этого импульса на рис. 2.7 имеют индекс «п».

Для удержания притянутого якоря вследствие уменьшения воздушного зазора достаточен ток меньше тока трогания. Если необходимая длительность управляющего импульса t_y больше длительности форсирующего импульса, микроконтроллер формирует удерживающий импульс, параметры которого отмечены индексом «уд». В процессе удерживающего импульса ток в обмотке спадает от форсирующего уровня. При достаточно длительном удерживающем импульсе ток может достигнуть достаточного для удержания якоря установившегося значения.

С целью повышения быстроты отпадания якоря микроконтроллер может формировать размагничивающий импульс. Он должен создавать магнитный поток, направленный навстречу основному, ускоряющий результирующий поток и уменьшающий время движения якоря от упора до упора. Излишняя величина или длительность размагничивающего импульса способна вызвать повторное ненужное срабатывание электромагнита. Размагничивающий импульс может иметь обратную полярность для подачи его в ту же обмотку, что показано на рис. 2.7 (его параметры обозначены индексом «р»). Размагничивающий импульс может быть подан в дополнительную обмотку; аналогичный по назначению импульс подается в обмотку возвращающего электромагнита двойного действия.

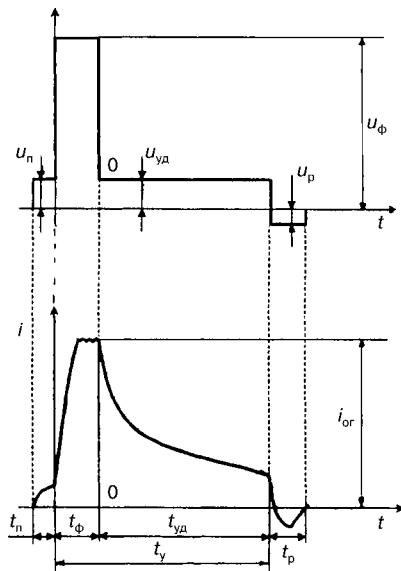


Рис. 2.7
Состав управляющего импульса форсированного электромагнита:
 u — напряжение управляющего импульса;
 i — ток в обмотке.

2.2.3. ПЬЕЗОАКТЮАТОРЫ

Для получения заведомо более высоких, чем в электромагнитах, быстродействия и величин перестановочных сил в двигателестроении начинают применять пьезоэлектрические преобразователи, или пьезоприводы (пьезоактюаторы), на основе обратного пьезоэлектрического эффекта, для краткости далее именуемого пьезоэффектом — изменение размеров диэлектриков в электрическом поле. Они преобразуют электрическую энергию в механическую.

Основу большинства современных пьезоэлектрических материалов составляют твердые растворы титаната-цирконата свинца, модифицированные различными компонентами и добавками. В России чаще используются керамические пьезоэлектрические материалы, полученные из смеси различных окислов и солей.

Пьезоэлектрические материалы отличаются:

- возникновением пьезоэлектрического эффекта в результате появления остаточной поляризации и двойного электрического слоя на поверхности спеченных образцов после воздействия электрического поля;
- высокими значениями диэлектрической проницаемости;
- спонтанной поляризацией отдельных областей (доменов);
- гистерезисом на зависимостях: «поляризация — электрическое поле»; «деформация — электрическое поле»;
- ростом диэлектрической проницаемости с повышением температуры;
- наличием особой точки Кюри на зависимостях: «диэлектрическая проницаемость — температура», выше которой сегнетоэлектрические свойства не проявляются.

Основным преимуществом пьезоэлектрических преобразователей является их **чрезвычайно высокое быстродействие**. В ультразвуковой технике применяются пьезоэлектрические преобразователи при частотах порядка 200 кГц. Также важное преимущество пьезоактюаторов — **высокая экономичность**, т. е. малое потребление электрической энергии (только при перемещении). На рис. 2.8 представлены напряжения управляющих импульсов и создаваемые ими токи для одинаковых по назначению (управление вспрыскиванием топлива) электромагнитного и пьезоэлектрического приводов.

Управление текущими значениями тока в электромагнитном приводе выполняется импульсной модуляцией. Очевидно отсутствие тока в сработавшем пьезоактюаторе, тогда как для электромагнита удерживающий ток необходим.

Обратный пьезоэлектрический эффект в общем случае описывается следующим уравнением:

$$S_k = - \sum_h \delta_{kh}^{\Sigma} T_h + \sum_j d_{kj} E_j, \quad (2.1)$$

где S_k — деформация со значениями k от 1 до 6; δ — постоянная гибкости; T_h — упругое напряжение со значениями h от 1 до 6; d_{kj} — пьезоэлектрический модуль; E_j — напряженность электрического поля со значениями j от 1 до 3.

Первое слагаемое уравнения показывает, что механическая деформация, возникающая под действием электрического поля, вызывает за счет пря-

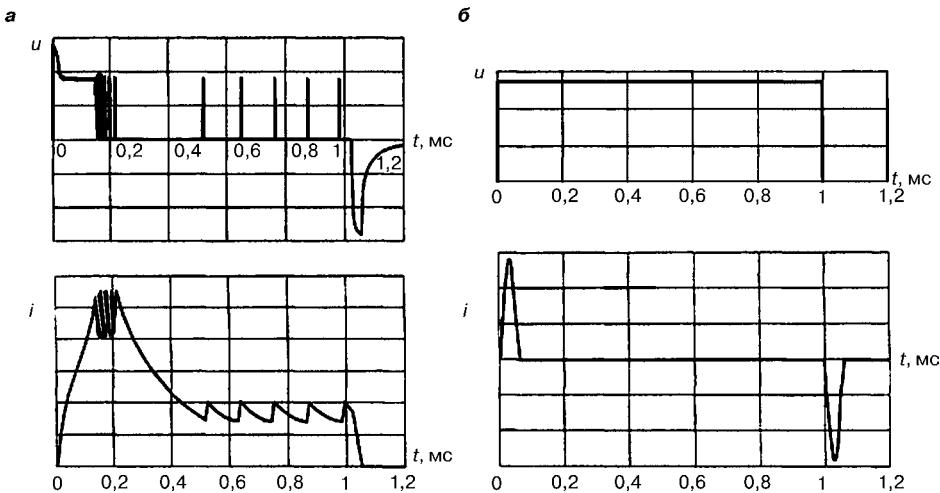


Рис. 2.8

Сравнительные характеристики управляемых импульсов электромагнитного (а) и пьезоэлектрического (б) приводов:
 u — напряжение управляющего импульса; i — ток, протекающий в преобразователе.

го пьезоэлектрического эффекта появление на поверхности кристалла противонапряжения.

Противонапряжение может создаваться и механической деформацией вследствие приводимой пьезоактуатором нагрузки. Напряжение электрического управляющего импульса формирует напряжение на пьезоактуаторе по мере заряда конденсатора, образуемого электродами и диэлектриком пьезоактуатора. В первом приближении это апериодический процесс с постоянной времени, определяемой емкостью конденсатора и сопротивлением цепи заряда.

Суммарное противонапряжение уменьшает действие напряжения, приложенного извне, созданного электрическим управляющим импульсом. Поэтому напряженность электрического поля в материале пьезоактуатора определяется изменяющейся во времени разностью напряжения электрического управляющего импульса и противонапряжений. Деформации пьезоактуатора — не мгновенно и не линейно — воспроизводят приложенное к нему напряжение.

Существует некоторое предельно достижимое значение деформации. Для каждого материала экспериментально можно установить предельное значение напряженности электрического поля.

При напряженностях поля, далеких от предельных, можно пользоваться более простой формулой

$$\Delta l = d_{33}u, \quad (2.2)$$

где Δl — абсолютное удлинение образца; u — приложенное к образцу напряжение; d_{33} — пьезоэлектрический модуль.

Из (2.2) видно, что в рабочем диапазоне изменение длины пьезоэлемента пропорционально напряжению.

Кроме того, пьезоэлементы поляризованы (направление изменения длины зависит от знака приложенного напряжения) и совмещают возможности выполнения как тянущего, так и толкающего привода.

Преимуществом пьезоприводов также является совмещение перестановочных и упругих сил в одном элементе.

Что касается производительности, пьезопривод фирмы Siemens для электрогидравлических форсунок развивает силу 6300 Н, аналогичный отечественный — 1000 Н.

Пьезоактуаторы масло-, бензо- и термостойки, прочны и герметичны. Однако имеют и некоторые недостатки, вызывающие необходимость усложнения конструкций исполнительных механизмов, выполненных на пьезоактуаторах. Так, относительная величина пьезоэлектрических деформаций для наилучших из ныне известных материалов составляет порядка 0,001 при напряженности электрического поля порядка 100 кВ/м.

Кроме того, температурные деформации пьезокерамики соизмеримы с пьезоэлектрическими. Коэффициент температурного расширения отечественной пьезокерамики на основе титаната-цирконата свинца — порядка $2,5 \cdot 10^{-3}$ 1/град. Устранение влияния температурных деформаций пьезоактуаторов проще всего достигается выполнением их корпусных деталей из материалов с близкими к пьезокерамике коэффициентами температурного расширения.

Первые в России попытки использования пьезоэффекта в электронном управлении двигателей были предприняты в 1972 г. с материалами, имевшими на два порядка меньшие относительные пьезоэлектрические деформации. Но результаты начатых разработок и исследований позволили при появлении указанных современных материалов создать схемы и конструкции исполнительных механизмов с пьезоактуаторами, оптимальные по сочетанию эффективности, надежности и габаритов для практического применения на двигателях.

Пьезоэлектрические преобразователи могут быть использованы прежде всего в топливных системах двигателей — в насосах, управляющих клапанах и непосредственно в форсунках. С 2002 г. фирмы Siemens и Bosch производят дизельные электрогидравлические форсунки с пьезоактуаторами.

Структура простейшего единичного пьезоэлемента показана на рис. 2.9а.

Обычно единичные пьезоэлементы имеют форму пластин. При подаче на них электрического напряжения в пьезоэлектрике создается электрическое поле. Чтобы управляющее напряжение, создающее необходимую для имеющихся пьезоэлектрических материалов напряженность поля, не превышало 400–600 В, толщина единичного пьезоэлемента должна быть не более

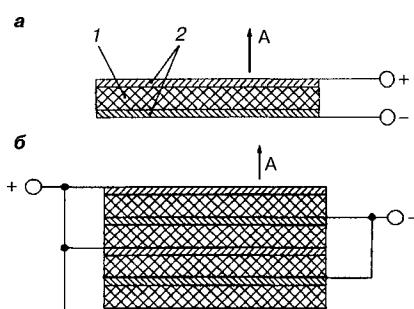


Рис. 2.9

Структура пьезоэлементов:

1 — пьезоэлектрический материал; 2 — металлические обкладки; а — единичный пьезоэлемент; б — собранный в столбик пьезоэлемент; А — перестановочная сила.

0,3 мм. Очевидно, что абсолютное изменение толщины такого элемента ничтожно мало. Для получения необходимого перемещения приходится набирать столбики из единичных пьезоэлементов, как показано на рис. 2.9б. Металлические прокладки между слоями пьезоэлектрика параллельно соединяются, чередуясь через одну в две группы, на которые подается управляющий электрический импульс. Поэтому в каждом единичном пьезоэлементе создается поле необходимой напряженности, но чередующейся направленности. Соответственно для согласования изменения толщины единичных пьезоэлементов в пакете чередуются элементы разных знаков направленности поляризации.

В упомянутом пьезоактуаторе фирмы Siemens имеется 280 единичных пьезоэлементов. Они и составляют активную суммарную длину пьезоактуатора. В общую же длину входят и металлические прокладки между слоями пьезоэлектрика, и изоляционные прокладки на концах наборного пьезоэлемента. Общая длина пьезоактуатора фирмы Siemens — около 80 мм. При подаче напряжения он изменяет длину на 80 мкм за 0,1 мс.

В поперечном сечении пьезоактуаторы могут иметь форму прямоугольника, круга, кольца и любую другую, удобную для установки его в исполнительный механизм соответствующей системы двигателя.

Важнейшим преимуществом пьезоактуаторов при использовании их в топливных системах наряду с дозированием подачи топлива является возможность создания в его потоке ультразвуковых колебаний, которые обеспечивают очистку отверстий сопел и лучшее распыление.

В Университете г. Эссен (Германия) на серийном двигателе с искровым зажиганием, оборудованном системой впрыскивания топлива K-jetronic, были проведены сравнительные экспериментальные исследования характеристик в штатном исполнении и с системой впрыскивания, в которой форсунки были заменены ультразвуковыми распылителями. Основной элемент такого распылителя — вибратор в виде относительно тонкого конического диска, приводимого пьезоактуатором и вибрирующего в вертикальном направлении с заданными частотой и амплитудой. На поверхность диска направляется топливо; распыляясь на мельчайшие капли, оно образует во впускном канале топливовоздушный туман. Установлено, что на номинальном режиме качество распыливания топлива форсункой и ультразвуковым вибратором одинаково. По мере снижения нагрузки двигателя распыливание форсункой ухудшается, а ультразвуковым вибратором — улучшается. В результате мощность двигателя повышается до 7% на наиболее частых эксплуатационных режимах. Долговечность ультразвукового распылителя оценивалась в 8 тыс. ч, что достаточно для двигателя легкового автомобиля.

2.2.4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КЛАПАНЫ СИСТЕМ ДВИГАТЕЛЕЙ

Электрические клапаны, преобразуя электрические управляющие сигналы, изменяют площадь управляемых отверстий в каналах подачи жидкостей (топлив, сжиженных газов, масла, воды и др.) или газов (газообразных топлив, воздуха, отработанных газов и др.).

Электрические клапаны состоят из электромеханических преобразователей, основные виды которых (нашедшие применение в системах двигателей) рассмотрены выше. Они перемещают по крайней мере одну из деталей затвора в управляемом канале. Принципиально среда под давлением может подводиться с любой стороны затвора.

Электромеханический преобразователь желательно выносить из полости с жидкостью или газом, находящимися под давлением. В противном случае необходимо тщательно герметизировать вводы в полость очень высокого давления электрических проводов, по которым подаются управляющие воздействия преобразователя. Если же за затвором жидкость или газ оказываются под атмосферным или близким к нему давлением, то во многих случаях оказывается целесообразным размещать электромеханические преобразователи в полостях с жидкостью или газом, находящимися под низким давлением, чтобы использовать их потоки для охлаждения электромеханических преобразователей. С другой стороны, расположение электромеханического преобразователя вне зоны повышенного давления требует уплотнения деталей, передающих перемещение клапану. Но от таких уплотнений не требуется электроизоляционные свойства, что позволяет использовать в них конструкционные материалы, обычные для управляемых систем двигателей. Кроме того, такие уплотнения могут эффективно служить направляющими, например, для якорей электромагнитов.

По характеру изменения сечения клапана различают электрические клапаны с нормально закрытым затвором, затвор которого при отсутствии электрического воздействия полностью закрыт, и с нормально открытым затвором, затвор которого при отсутствии электрического воздействия полностью открыт. В электроуправляемых системах двигателей используют и клапаны с несколькими затворами, например с одним нормально закрытым и одним нормально открытым.

Наибольшее распространение получили электрические клапаны с коническими затворами: подвижный элемент имеет форму полного или усеченного конуса, а неподвижный — седло — также конической формы с углом усеченного конуса, равным подвижному элементу или меньшим.

По герметичности в закрытом состоянии, надежности и долговечности коническим клапанам не уступают шаровые, выполняемые чаще всего в виде самоустанавливающихся в коническом седле шариков. В обоих вариантах уплотняющая часть в закрытом клапане представляет собой коническую поверхность, ширина которой всегда меньше ее диаметра. Поэтому упрощенно можно рассматривать уплотнительный поясок конического и шарового клапана как окружность, эффективный диаметр которой равен среднему диаметру пояска.

Необходимость учета эффективного диаметра затвора вызвана тем, что зона сопряжения конуса, как и шарика с коническим седлом, реально представляет собой щель, давление по ширине которой распределяется неопределенным образом. Упрощенно можно считать, что разделяющей камеры границей по обеим сторонам клапана является окружность. Она и считается эффективным (реально действующим) диаметром клапана. В первом при-

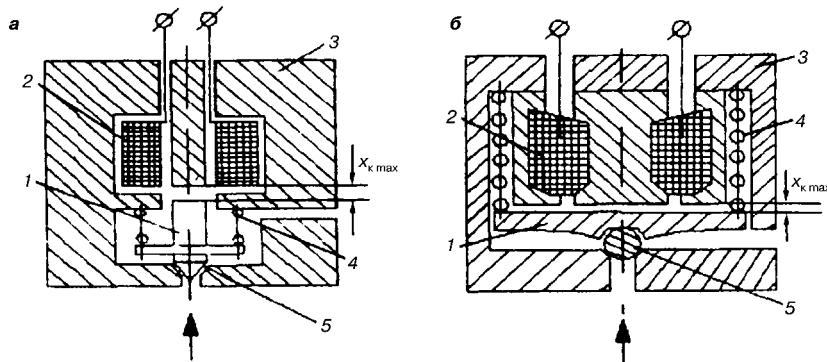


Рис. 2.10

Конструктивные схемы электрических клапанов с электромагнитным тянувшим приводом:
а — с электромагнитом-соленоидом и коническим нормально закрытым затвором; б — с самоустанавливающимся шариковым затвором; 1 — якорь; 2 — обмотка; 3 — неподвижная часть магнитопровода; 4 — возвратная пружина; 5 — клапан.

ближении его можно принять равным диаметру середины пояска сопряжения деталей закрытого затвора. Ширина этого пояска нестабильна при изготовлении и в эксплуатации клапанов. Эффективный же диаметр изменяется в меньшей степени.

После отрыва любого затвора от седла диаметр, характеризующий реальную или условную границу камеры до и после затвора, изменяется и зависит от его текущего положения (далее под эффективным подразумевается реальный или условный диаметр затвора).

Немаловажно и место расположения пружины в клапане. В электромагнитах ее часто помещают в центральной части магнитопровода соосно с равнодействующей перестановочной электромагнитной силой. Это приводит к необходимости роста радиальных размеров магнитопровода и обмотки, при увеличении потери энергии, габаритов, массы и инерции электромагнита. В электромагнитных приводах с притягивающимся якорем запирающую силу целесообразно создавать набором пружин, размещенных между якорем и статором по их периферии так, чтобы направление равнодействующей силы пружин совпадало с осью электромагнита. Это уменьшает перекосы якоря и радиальные силы на шарике.

На рис. 2.10а показана схема простейшего электрического клапана с электромагнитом-соленоидом и коническим нормально закрытым затвором, а на рис. 2.10б — с самоустанавливающимся шариковым затвором.

Здесь давление действует на клапаны снизу. Обмотки электромагнитов расположены за затворами в полостях более низкого давления. Давление создает на клапане силу, действующую в сторону его открытия. Чтобы предотвратить такое самопроизвольное открытие и обеспечить необходимую плотность закрытого клапана, сила запирающей пружины должна превосходить силу от максимально возможного давления среды на клапан. Соответственно сила, создаваемая включенным электромеханическим преобразователем, должна быть больше максимально возможной разности сил пружины и давления среды на клапане, т. е. при минимально возможном значении этого давления.

С целью сократить габариты и повысить быстродействие преобразователя в конструкции клапана следует обеспечить максимальное снижение силы, создаваемой давлением управляемой среды в направлении перестановочной силы преобразователя. Принципиально полностью разгружены от сил, создаваемых давлением, золотниковые клапаны. На рис. 2.11 a показан элек-

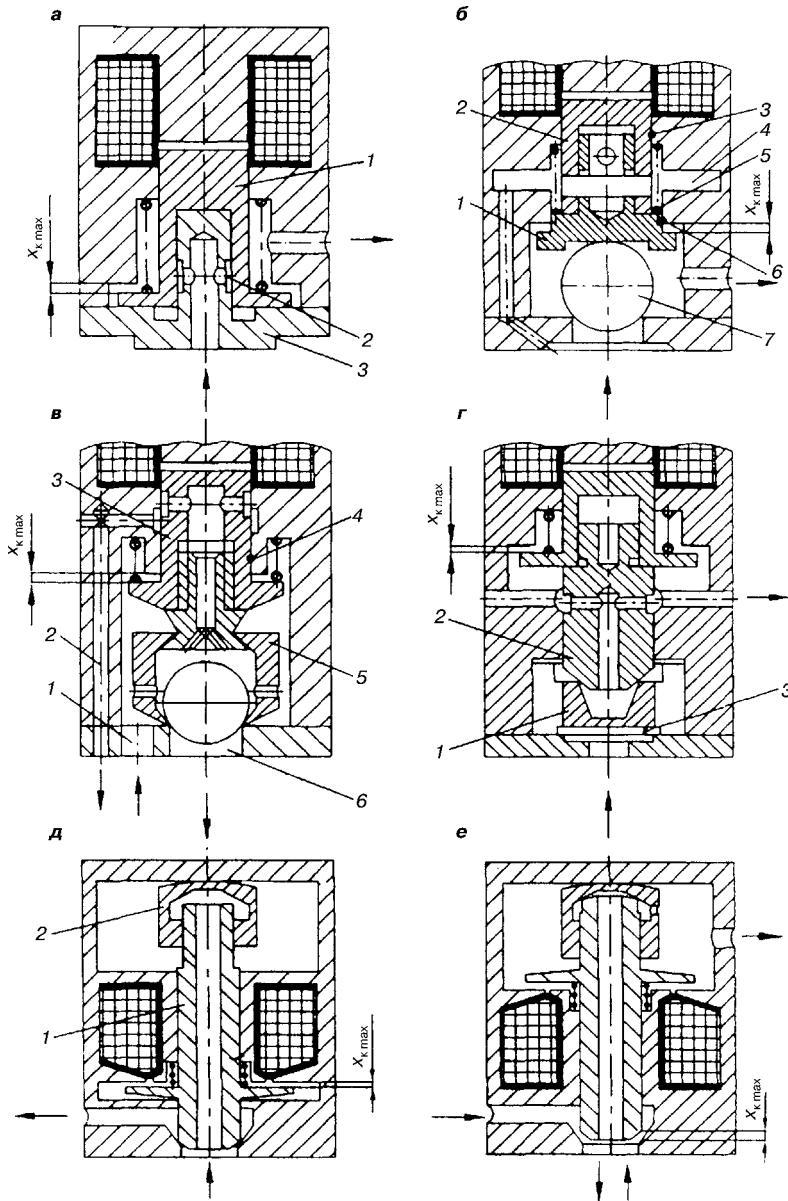


Рис. 2.11
Конструктивные схемы разгруженных электрических клапанов:
 a — с подвижной втулкой; $b-e$ — с самоустанавливающимся затвором.

тромагнитный клапан с подвижным элементом — втулкой 1 и неподвижным золотником 3.

Здесь силы на втулке от давления, подводимого снизу через осевой канал в кольцевую проточку 2, направлены перпендикулярно силе электромагнита. Они могут влиять только на силы трения в направляющих (и одновременно уплотняющих) сопряженных поверхностях золотника и втулки. Верхняя часть втулки с плоским торцом служит якорем электромагнита.

Для повышения эффективности электромагнита головную часть цилиндра целесообразно выполнять из материалов с улучшенными магнитными свойствами. Остальная же часть должна выполняться из материалов, обеспечивающих высокую прочность и износостойкость, поэтому движущаяся часть электромагнитных клапанов обычно состоит из нескольких жестко соединенных разнородных деталей. Во всех схемах на рис. 2.11 подвижные части золотниковых клапанов упрощенно показаны объединенными с якорями электромагнитов тянувшего действия.

Открытие клапана начинается после подъема нижней кромки втулки над нижней кромкой кольцевой проточки на золотнике. В золотниковых клапанах подвижным может быть и золотник при неподвижной втулке. Но в таком исполнении масса подвижных деталей клапана больше.

Недостатки золотниковых клапанов — неполная герметичность, утечки по зазорам между плунжерами и втулками, облитерация (заволакивание) в тонких зазорах при высоких давлениях среды, вызывающая заклинивание клапанов, повышенный износ в зонах управляющих кромок и увеличенный для обеспечения перекрытия кромок ход клапана. Поэтому применение золотниковых клапанов в системах двигателей ограничено.

Разгрузка незолотниковых клапанов может быть получена минимизацией площади, на которую действует давление, или подводом того же давления на привод клапана для создания силы, направленной противоположно силе на клапане. Во втором случае в клапане может быть использована специальная разгружающая камера, куда подается давление от того же источника, что и действующее на клапан. Давление в разгружающей камере воздействует на элемент привода, чаще всего имеющего вид плунжера или поршня.

Способность шариковых клапанов самоустанавливаться в седле облегчает их разгрузку. На рис. 2.11б показана схема клапана, в которой привод самоустанавливающегося шарика выполняется плунжерами. Плунжер 2 объединен с якорем электромагнита, он имеет в корпусе клапана направляющую и уплотняющую поверхность 3. Во внутреннюю полость плунжера 2 своей верхней частью входит плунжер 1. Плунжеры соединены штифтом. Плунжер 1 имеет в корпусе клапана собственную направляющую и уплотняющую поверхность 6 большего, чем поверхность 3, диаметра. Между сопрягаемыми частями плунжеров есть радиальный зазор, поэтому плунжеры свободно перемещаются по своим направляющим.

Внутренние полости плунжеров по зазору между ними и радиальным каналам соединены с разгружающей камерой 4 над плунжером 1, в ней размещена пружина 5. Разгружающая камера сообщена с входной камерой клапана под шариком 7 показанными слева наклонным и вертикальным каналами.

Давление в разгружающей камере на кольцевой площадке, определяемой разницей диаметров направляющих плунжеров, создает силу, дополняющую силу пружины. Площадь кольцевой площадки близка эффективной площади затвора на шарике 7, позволяя разгрузить его от сил, создаваемых давлением управляемой среды.

Увеличения числа прецизионных пар в клапане для его разгрузки можно избежать, если подводить давление в камеру между шариком и плунжером (рис. 2.11в). Способность шарика самоустанавливаться сохраняется благодаря размещению его в обойме 5, шарнирно соединенной с плунжером 3, имеющим направляющую и уплотняющую поверхность 4. Ее диаметр близок к эффективному диаметру нормально закрытого шарикового затвора в выходном канале 6. Давление подводится во внутреннюю полость клапана по каналу 1. По радиальным каналам оно поступает внутрь обоймы 5, где создает на шарике силу, запирающую этот затвор. Из обоймы давление по наклонным каналам подается внутрь плунжера. Давление во внутренней полости клапана создает на плунжере силу, направленную вверх и уравновешивающую силу на шарике. Электромагниту необходимо преодолевать только силу пружины.

В представленном примере показана возможность (дополнительно к нормально закрытому шариковому затвору) выполнения на плунжере нормально открытого золотникового затвора между нижней кромкой кольцевой проточки на плунжере и верхней кромкой аналогичной проточки в корпусе клапана. Дополнительный затвор сообщает внутреннюю полость клапана со вторым выходным каналом 2.

Для облегчения разгрузки конического затвора также желательна самоустановка. Ее можно выполнять, например, за счет самоустанавливающегося седла 1 (рис. 2.11г). При подаче давления в камеру 3 седло вместе с плунжером 2 поднимается до верхнего упора в камере, самоустанавливаясь по конусу плунжера. Чем ближе эффективный диаметр затвора к диаметру плунжера, тем полнее разгрузка. Уравнять диаметры возможно с помощью ступенчатой формы плунжера — увеличения его внешнего диаметра в камере 3, где расположено самоустанавливающееся седло. Пружина обеспечивает закрытое состояние затвора.

Для разгрузки может использоваться и самоустанавливающаяся втулка 2, надеваемая на свободный торец плунжера 1. На рис. 2.11д представлен пример электрического клапана с притягивающимся тарельчатым якорем в электромагните и нормально закрытым коническим затвором на нижнем торце плунжера. Внутренняя полость втулки служит разгружающей, каналом в плунжере она сообщена с входом клапана. Самоустанавливающаяся втулка сопрягается с плунжером по цилиндрической поверхности, диаметр которой может отличаться от диаметра средней части плунжера. Давление на входе в клапан перемещает втулку вверх вдоль плунжера до упора, на котором она находится все время работы клапана.

Сферическая форма верхнего торца втулки минимизирует возможные (вследствие несогласованности положения упора и оси плунжера) перекашивающие силы, препятствующие движению плунжера во втулке под действием электромеханического преобразователя. Это упрощает конструкцию

и технологию изготовления клапана с двумя прецизионными парами. При равенстве внутреннего диаметра втулки (в сопряжении) эффективному диаметру затвора в исходном положении плунжера силы от давления на его торцах равны и противоположно направлены.

Для электрических клапанов с самоустанавливающимися втулками наиболее рациональны электромеханические преобразователи или приводные детали, передающие их перемещение плунжеру и позволяющие разместить внутри них самоустанавливающуюся втулку, а также ее упор. В таком исполнении наиболее эффективны по быстродействию и энергопотреблению электромеханические преобразователи двойного действия — например, сдвоенные электромагниты (противоположного действия) или реверсируемые пьезоактиоаторы. При этом пружина необходима практически только для удержания затвора в исходном положении на неработающем двигателе, соответственно она может быть выполнена сравнительно слабой и компактной (на рис. 2.11 она именно такая, хотя для упрощения показаны электромагниты одностороннего действия).

Наибольший же эффект от применения самоустанавливающейся втулки заключается в том, что в ней достаточно технологично можно, например, выполнить второй, также конический затвор клапана (рис. 2.11e).

Клапаны с комбинацией нормально открытого и нормально закрытого затворов во многих случаях наиболее целесообразны. В рассматриваемом примере на нижнем торце плунжера нормально открытый, а на верхнем — нормально закрытый затвор. Второй выход клапана выполнен через радиальные отверстия 1 в самоустанавливающейся втулке.

Во всех вариантах разгрузки клапанов с коническими и шаровыми затворами может иметь место как произвольное, так и искусственно созданное неполное совпадение определяющих диаметров, например эффективного диаметра затвора и диаметра плунжера. Такое несовпадение создает дифференциальный эффект — появление разности сил на клапане от давления, действующего на дифференциальную поверхность, площадь которой соответствует разности определяющих диаметров. Величина результирующей разностной (дифференциальной) силы пропорциональна разности диаметров, а направление соответствует знаку разности диаметров. Дифференциальную силу возможно использовать для добавления к силе возвращающей пружины или даже вместо нее; она может дополнять и силу электромеханического преобразователя. В любом варианте это позволяет сократить габариты, массу подвижных деталей, энергопотребление и повысить быстродействие электрического клапана.

Следует также учитывать, что после отрыва любого затвора от седла перепад давления на нем и его эффективный диаметр, характеризующий реальную или условную границу камер до и после затвора, изменяются и зависят от текущего положения. С точки зрения управления это создает на затворе обратную связь силы от его положения, как положительную, так и отрицательную. В частности, она может вызывать изменения не только величины, но и знака дифференциальных эффектов, что позволяет дополнительно повысить быстродействие электрического клапана. Например, в схеме

электрического клапана (рис. 2.11 δ) при закрытом затворе, эффективный диаметр которого меньше диаметра сопряженных поверхностей плунжера и уравновешивающей втулки, дифференциальная сила направлена в сторону закрытия затвора, дополняя или заменяя силу пружины. После открытия затвора давление среды, действуя снизу на площадь, ограниченную внешним диаметром затвора, если этот диаметр больше диаметра во втулке, изменяет знак дифференциальной силы. Она ускоряет открытие клапана, но замедляет закрытие. После отключения электромагнита по мере приближения затвора к седлу тормозящее действие такой дифференциальной силы ослабевает. При недостаточной силе пружины или излишнем преобладании внешнего диаметра затвора над диаметром сопряжения во втулке клапан может вообще не закрыться.

Разрабатывая и применяя практически любые электрические клапаны, необходимо учитывать возможность образования дифференциальных эффектов и обратных связей по положению клапана.

2.2.5. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ФОРСУНКИ

В бензиновых двигателях с впрыскиванием топлива во впускные каналы цилиндров применяются электромеханические, практически только электромагнитные форсунки в виде электромагнитного клапана с тянувшим приводом (см. рис. 2.10 a). Характерным примером такой форсунки может служить форсунка фирмы Bosch, показанная на рис. 2.12.

В корпусе форсунки размещена приемная часть штепсельного электрического разъема, верхняя часть иглы служит якорем электромагнита. Пружина 5 прижимает шаровой затвор, находящийся на нижнем торце иглы, к коническому седлу 7 с шайбой, в которой выполнены распыливающие отверстия. Смена шайб обеспечивает изменение формы факела для оптимизации смесеобразования.

Величина цикловой подачи топлива определяется длительностью открытого состояния форсунки, т. е. длительностью электрического управляющего импульса, подаваемого на обмотку электромагнита форсунки. Поскольку она ограничивается практически только длительностью трех тактов в цилиндре, необходимая подача топлива обеспечивается при ходе иглы такой форсунки 60–90 мкм.

Низкие давления впрыскиваемого топлива и воздуха во впускном коллекторе не требуют большой силы запирающей пружины. Соответственно относительно невелика и необходимая сила электромагнита. В сочетании с малым ходом якоря это позволяет упростить и уменьшить магнитопровод, разместить внутри него пружину, а обмотку электромагнита, подводящие провода и штепсельный разъем, полностью изолировать от центрального канала форсунки, по которому подается топливо к затвору.

При подборе форсунки для конкретного двигателя необходимо учитывать ее основные характеристики:

- статический расход топлива;
- динамический диапазон работы;

- минимальную цикловую подачу топлива;
- время открытия и время закрытия форсунки;
- угол конуса распыливания и дальность факела топлива;
- мелкость распыливания и распределение топлива в факеле.

Статический расход топлива характеризуется количеством топлива, проходящего через форсунку в единицу времени при заданном давлении и полностью открытом клапане форсунки. Фирмы выпускают семейства форсунок с разными статическими расходами, что позволяет обеспечить работу двигателей с разным рабочим объемом цилиндров.

Динамический расход топлива определяется по фактическому значению цикловой подачи топлива в мг/цикл при заданных значениях длительности импульса открытия форсунки, частоты следования импульсов и давления впрыскивания топлива.

С целью сохранить расходные характеристики форсунок при различных режимах работы двигателя в условиях эксплуатации подача топлива ведется при постоянном перепаде между давлением топлива и давлением во впускном трубопроводе после дроссельной заслонки. Для этого в топливной системе установлен нагруженный пружиной редукционный клапан с мембранным приводом, причем полость над мембраной соединяется с полостью задроссельного пространства.

Динамический диапазон работы форсунки (ДДР) определяется отношением максимальной и минимальной цикловых подач топлива в диапазоне их изменения, при котором с точностью до 2–3% сохраняется линейная связь между продолжительностью импульса открытия форсунки и величиной цикловой подачи топлива. Величина ДДР — важный фактор, так как определяет возможность сохранения точного управления подачей топлива при изменении нагрузки; на нее оказывает большое влияние масса подвижного элемента форсунки (якоря электромагнита с клапаном).

Нарушение линейности характеристики в значительной мере связано с влиянием переходных процессов открытия и закрытия форсунки. Помимо массы подвижного элемента на эти процессы влияет сила пружины клапана. Увеличение затяжки пружины повышает время открытия форсунки

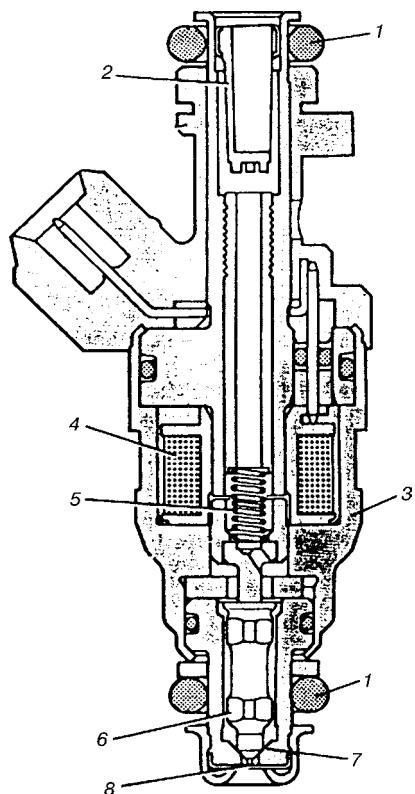


Рис. 2.12
Электромагнитная форсунка:
1 — уплотнительные кольца; 2 — фильтр тонкой очистки; 3 — корпус; 4 — обмотка электромагнита; 5 — пружина; 6 — игольчатый клапан; 7 — коническое седло; 8 — сменная пластина с распыливающими отверстиями.

Динамический диапазон работы форсунки

Масса подвижного элемента, г	Время открытия, мс	Время закрытия, мс	ДДР
4,3	1,55	0,89	8
4,3*	1,49	0,72	10
2,7	1,32	0,55	17

Примечание.* Увеличение ДДР достигнуто благодаря улучшению системы электромагнитного привода.

и снижает время ее закрытия. При микропроцессорном управлении возможна коррекция подачи топлива с учетом нелинейности характеристики форсунок.

В табл. 2.1 показаны величины ДДР у нескольких конструкций штифтовых форсунок фирмы Bosch с разной массой подвижного элемента.

Масса запирающего элемента существенно зависит от его конструкции. У штифтовых форсунок она порядка 2–4 г, у форсунок с шариковым клапаном может быть снижена до 1,5–1,8 г, а при пластинчатом клапане — до 0,5 г. Выбор конструкции во многом определяется необходимостью обеспечить надежность герметичности форсунки и стабильность ее характеристик. Работоспособность современных форсунок составляет 600–900 млн циклов. За счет совершенствования конструкции форсунок в последние годы время открытия и закрытия клапана удалось уменьшить в 2–3 раза по сравнению с указанными в табл. 2.1.

В зависимости от числа впускных клапанов в цилиндре, конструкции впускного тракта и возможности размещения форсунок в двигателях с распределенным впрыскиванием топлива используют форсунки с различным углом конуса распыливания, одноструйные, двухструйные и с боковым направлением факела.

Качество распыливания топлива зависит от давления впрыскивания и конструкции распылителя. Обычно давление впрыскивания составляет 2–4,5 бар. У распыливающих форсунок средний диаметр капель — 150–200 мкм. Путем совершенствования конструкции распыливающих отверстий или применения специальных мер для улучшения распыливания средний диаметр капель может быть уменьшен примерно до 60 мкм.

Для управления качеством смесеобразования применяют форсунки с воздушным распыливанием топлива. Воздух к форсунке подается под естественным перепадом давления во впускном тракте и в окружающей среде. В этом случае по мере прикрытия дроссельной заслонки количество подаваемого воздуха увеличивается и, следовательно, улучшается качество распыливания. Реже используют принудительную подачу воздуха к форсунке под избыточным давлением.

Близки по конструктивному исполнению к описанной электромагнитные форсунки для подачи во впускные коллекторы двигателей сжатых газов.

При впрыскивании же жидкого или сжиженного топлива непосредственно в цилиндр, где давление воздуха и тем более газов более чем на порядок, а давление впрыскивания на 2–3 порядка выше, чем при впрыскивании во впускной коллектор, требуется гораздо большая запирающая сила. Уве-

личения запирающей силы требует и необходимость обеспечения исключительно высокой гидроплотности закрытого затвора. Допустимая продолжительность впрыскивания топлива в цилиндр существенно меньше, чем во впускной коллектор, что увеличивает необходимый ход иглы.

Для достижения необходимого быстродействия форсунки электромагнит должен с достаточным запасом преодолевать разность сил на затворе от пружины и давлений топлива и газов в цилиндре во всем возможном диапазоне изменения этих давлений. Поэтому конструкции электромагнитных форсунок для впрыскивания топлива непосредственно в цилиндры более сложны, а их электромагниты существенно более форсированы. Целесообразно использование в них хотя бы частично разгруженных затворов, описанных выше. Тем не менее электромагнитные форсунки применяются для впрыскивания топлива в цилиндры при давлении топлива только до 12–15 МПа. Такого давления достаточно для непосредственного впрыскивания легких топлив — бензина, сжиженных газов и некоторых синтетических — в большинстве случаев в цилиндры двигателей с искровым зажиганием.

Использование простейших электромеханических форсунок для впрыскивания жидкого топлива в цилиндры двигателей, особенно дизелей, где требуются все более высокие давления впрыскивания, пока затруднено из-за отсутствия освоенных в серийном производстве электрических приводов с необходимыми ходом, перестановочными силами и быстродействием.

Не имеют таких ограничений по давлению впрыскивания топлива электромеханические форсунки с пьезоэлектрическим приводом игл — пьезоэлектрические форсунки.

В Ганноверском университете была создана электромеханическая форсунка, в которой для непосредственного привода иглы используется пьезо преобразователь (см. рис. 2.13).

Так как пьезопривод непосредственно воздействует на иглу, к нему предъявляются довольно высокие требования по развивающимся силам, перемещениям и быстродействию. Чтобы обеспечить достаточный ход иглы, пьезо преобразователь набран из шайб толщиной 0,5 мм. Напряженность электрического поля, ограниченная прочностью пьезокерамического материала, составляет 2 кВ/мм. Шайбы соединены в столбике параллельно, поэтому максимальное значение управляющего напряжения — 1 кВ.

Игла форсунки удерживается в запертом положении подачей на пьезоактуатор напряжения 1 кВ, которое обеспечивает максимальное исходное удлинение пьезоактуатора. Для открытия форсунки напряжение на пьезоактуаторе снижается до величины, соответствующей заданному подъему иглы.

Скорости удлинения и сокращения подобного преобразователя зависят от скорости изменения напряженности электрического поля. Следовательно, скорость удлинения (для закрытия форсунки) пропорциональна зарядному току, а скорость сокращения — разрядному. Выходной каскад электронного блока управления, состоящий из мощного усилителя, выполненного по мостовой схеме на MOS-FET элементах, для достижения высокой крутизны заднего фронта характеристики впрыскивания топлива форсункой обеспечивает ток заряда 12 А при напряжении 1 кВ. В цепь разряда включен

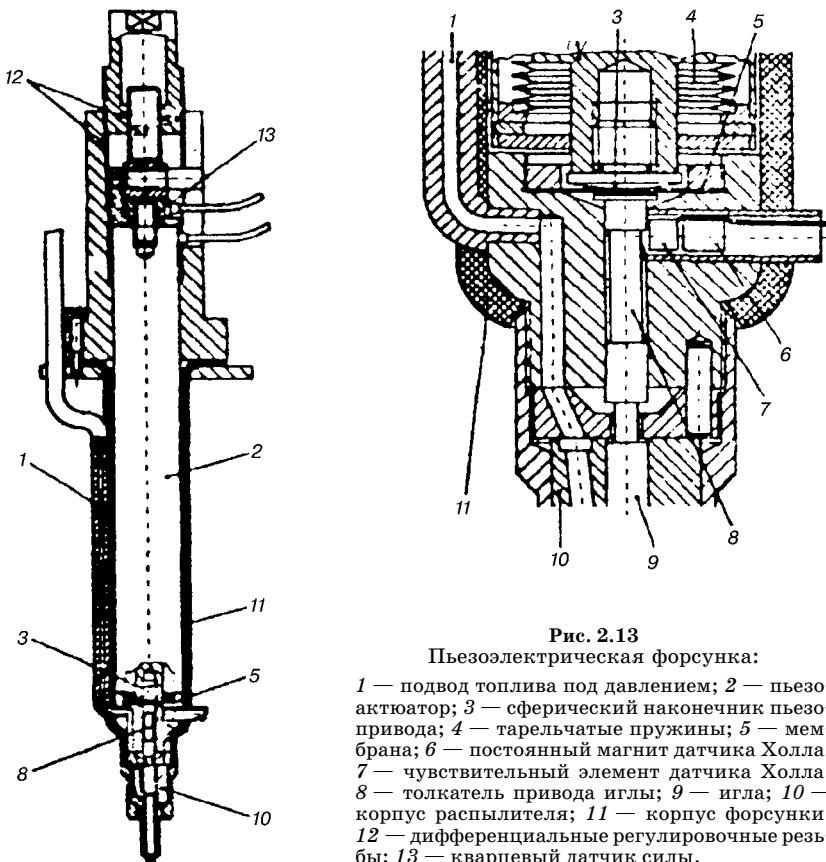


Рис. 2.13
Пьезоэлектрическая форсунка:

1 — подвод топлива под давлением; 2 — пьезоактиватор; 3 — сферический наконечник пьезопривода; 4 — тарельчатые пружины; 5 — мембрана; 6 — постоянный магнит датчика Холла; 7 — чувствительный элемент датчика Холла; 8 — толкатель привода иглы; 9 — игла; 10 — корпус распылителя; 11 — корпус форсунки; 12 — дифференциальные регулировочные резьбы; 13 — кварцевый датчик силы.

регулятор, обеспечивающий изменение тока разряда в диапазоне 2–12 А для управления передним фронтом характеристики впрыскивания. При токах управляющего импульса 12 А пьезопреобразователь перемещает иглу на 180 мкм за время порядка 250 мкс. При удлинении развивает силу около 3,5 кН, достаточную для управления характеристикой впрыскивания при давлении в аккумуляторе до 120 МПа. В такой пьезоэлектрической форсунке принципиально возможно изменение характеристики впрыскивания в широких пределах, вплоть до прямоугольной формы.

Пьезокерамический материал, конструкция и технология изготовления столбика позволяют выдерживать только силу сжатия, поэтому пьезопреобразователь предварительно нагружают с помощью тарельчатых пружин.

Для компенсации тепловых деформаций пьезокерамики в корпусных и регулировочных деталях форсунки используется комбинация материала СФК, имеющего меньшее тепловое расширение, чем керамика, а также алюминия и стали, имеющих большее расширение. Соотношение длин этих деталей выбрано из условий минимизации суммарных тепловых деформаций. Как отмечают авторы, данная разработка предназначена не для серийного производства, а для исследований влияния различных параметров впры-

сивания на рабочий процесс в цилиндре, поэтому в форсунке установлены пьезокварцевый датчик силы, развивающейся пьезоактиuatorом, и датчик Холла, контролирующий перемещения иглы.

Немецкая фирма FEV MotorenTechnik предложила более рациональную конструкцию электромеханической форсунки с пьезоприводом (рис. 2.14).

Здесь пьезопреобразователь действует на иглу не непосредственно, а через мультиплексорный гидропривод. Перемещение пьезопреобразователя передается поршню привода иглы через гидравлическую систему, состоящую из мембранны, камеры нагнетания, канала управления, камеры высокого давления и камеры управления. Эта гидравлическая система предварительно заполнена топливом, которое под давлением из аккумулятора через канал 10 подается к распылителю. Пружина держит иглу распылителя в закрытом положении. При включении пьезопреобразователя в камере нагнетания создается управляющее давление. Это давление передается в камеру управления. Поскольку площадь поршня меньше площади мембранны, его перемещение соответственно больше перемещения пьезопреобразователя. Подъем поршня позволяет игре под действием давления под ней, заведомо большего, чем давление в управляющей камере, подняться. Начинается впрыскивание топлива в цилиндр. При отключении пьезопреобразователя давление в гидросистеме снижается, поршень под действием пружины опускается, закрывая иглу. Впрыскивание заканчивается.

Быстро действующий привод в этой форсунке позволил обеспечить диапазон устойчивых подач топлива 1:100 при высокой стабильности. Поэтому разработчик использует ее в газодизеле, где особо важна стабильность малых запальных подач жидкого топлива. Недостатком является ограниченный диапазон изменения давления впрыскиваемого топлива из-за использования пружин для запирания иглы.

Дальнейшего развития электромеханических форсунок можно ожидать именно в виде пьезоэлектрических.

2.2.6. ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ФОРСУНКИ

Практически все промышленно выпускаемые электронно управляемые форсунки для дизелей — электрогидравлические, где электромеханический преобразователь воздействует на основной клапан — иглу — через гидравлический привод, выполняющий роль усилителя или увеличителя хода.

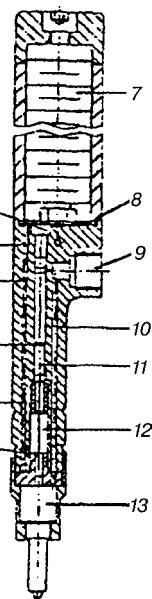


Рис. 2.14
Пьезоэлектрическая форсунка с гидравлическим мультиплексором в приводе иглы:

1 — камера управления; 2 — пружина; 3 — камера высокого давления; 4 — канал управления; 5 — корпус; 6 — камера нагнетания; 7 — пьезоэлектрический привод; 8 — мембрана; 9 — подвод топлива; 10 — канал подачи топлива к распылителю; 11 — плунжер; 12 — поршень-усилитель; 13 — распылитель.

В качестве рабочей жидкости в гидроприводе используют топливо, подаваемое под давлением к форсунке для впрыскивания, или масло из дополнительной гидравлической системы. Первый вариант — характерный пример использования энергии, имеющейся в управляемой системе двигателя.

Интенсивно ведутся работы по созданию пьезоэлектрических преобразователей для дизельных электрогидравлических форсунок. Однако все еще актуальными остаются форсунки с форсированными электромагнитными управляющими клапанами.

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ФОРСУНКИ С ОДНОЗАТВОРНЫМИ УПРАВЛЯЮЩИМИ КЛАПАНАМИ

Устройство представляет собой комбинированный исполнительный преобразователь, содержащий последовательно действующие электрический клапан и гидропривод. Обычно используются один управляющий электрический клапан с электрическим приводом в основном в виде электромагнита с возвратной пружиной и дроссельный гидравлический усилиительный привод иглы. В качестве поршня гидравлического сервопривода — сама игла или связанный с ней непосредственно либо через жесткие промежуточные детали специальный приводной поршень.

Электрогидравлические форсунки автомобильных дизелей, особенно легковых и грузовых малотоннажных автомобилей, должны иметь уменьшенные габариты и меньший уровень минимально устойчивых подач топлива.

Конструктивная схема одного из вариантов такой форсунки с простейшим электромагнитным приводом управляющего клапана и дроссельным гидравлическим приводом иглы, использующим в качестве рабочей жидкости топливо, представлена на рис. 2.15а.

Заметим, что расход топлива в гидроприводе (расход на управление впрыскиванием), в отличие от подачи топлива в цилиндр, возвращается в топлив-

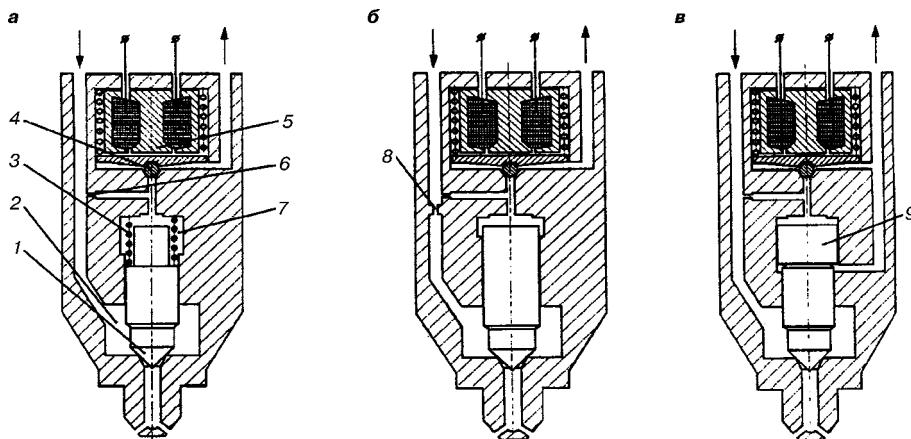


Рис. 2.15

Основные схемы электрогидравлических форсунок:

1 — игла; 2 — камера; 3 — пружина; 4 — шарик; 5 — электромагнитный привод; 6 — дроссель; 7 — управляющая камера; 8 — дополнительный дроссель; 9 — поршень.

ный бак. Теряется только энергия, затраченная на сжатие части топлива, использованного на управление.

В исходном положении игла прижимается к седлу силой пружины и разностью сил, создаваемых давлением топлива в управляющей камере и камере, расположенной под иглой, где действующая площадь иглы меньше.

Электрический управляющий клапан содержит собственно клапан, например в виде шарика, и электромагнитный привод одностороннего действия. При подаче управляющего электрического импульса на электромагнит управляющий клапан открывается, давление в управляющей камере снижается, так как проходное сечение открывшегося затвора управляющего клапана значительно превышает поперечное сечение дросселя 6. Сила, созданная давлением в камере 2, преодолевает силу пружины и поднимает иглу, открывая подачу топлива в цилиндр.

Игла остается в открытом положении до тех пор, пока в результате закрытия управляющего клапана давление в управляющей камере не достигнет уровня, при котором равнодействующая сил на игле изменит направление. Начинается процесс закрытия иглы. По мере приближения к седлу на поверхность иглы за затвором действует все уменьшающееся давление топлива в распылительном канале, что ускоряет закрытие иглы и завершение впрыскивания. В закрытом состоянии игла удерживается силой пружины, дополняемой при наличии давления на входе в форсунку силой, вызванной разностью площадей иглы в камерах 7 и 2, на которые действует давление топлива.

Преимуществами такой электрогидравлической форсунки является возможность минимизации радиальных размеров нижней части форсунки, создаваемых диаметром иглы и числом прецизионных пар. Но вследствие созданного установкой пружины дополнительного объема управляющей камеры время падения и последующего роста давления в ней при каждом впрыскивании сравнительно велико, что приводит к снижению быстродействия. Главным же недостатком форсунок с пружинным возвратом иглы является то, что параметры конкретной пружины могут быть оптимальны по быстродействию только для одного значения давления в аккумуляторе. Вообще такая форсунка имеет ограниченный диапазон давлений, в котором она достаточно эффективна, тогда как для автомобильного двигателя необходим широкий диапазон давлений впрыскивания топлива.

На рис. 2.15б показана электрогидравлическая форсунка, принцип действия которой заключается в следующем: когда импульс на управляющем клапане отсутствует, расхода топлива из камеры управления нет, давление в ней становится равным давлению в камере под иглой, но большая площадь, на которую действует давление в камере управления, позволяет игре оставаться в закрытом состоянии.

Открытие иглы происходит так же, как и в форсунке с возвратной пружиной. При выключении же управляющего импульса клапан закрывается, давление в камере управления растет, а в камере под иглой (из-за наличия дополнительного дросселя в канале впрыскивания) продолжает оставаться уменьшенным, что приводит к закрытию иглы и прекращению впрыскивания.

Это достаточно простой в реализации и компактный вариант электрогидравлической форсунки. Недостаток этих форсунок — необходимость потерять давления топлива в дополнительном дросселе канала впрыскивания, обеспечивающего закрытие иглы.

В электрогидравлической форсунке, показанной на рис. 2.15в, над иглой установлен гидроприводной поршень, поперечное сечение которого превышает поперечное сечение иглы. Поэтому сила, создаваемая на поршне давлением в управляющей камере после закрытия управляющего клапана, превышает силу, действующую на иглу снизу, обеспечивая закрытие иглы. Наличие в такой форсунке дополнительного прецизионного элемента — поршня — усложняет и удорожает ее. Однако возможность установки между иглой и поршнем промежуточного толкателя позволяет вынести поршень с управляющей камерой и клапаном в пространство над крышкой цилиндра, более свободное для установки этой части форсунки. Именно такие варианты электрогидравлических форсунок серийно выпускаются за рубежом и реализуются в большинстве отечественных разработок.

Как правило, на практике в электрогидравлических форсунках в той или иной мере используются сочетания трех рассмотренных выше конструкций, обеспечивающих запирание иглы с необходимой силой.

Примером форсунки с гидроприводным поршнем может служить форсунка фирмы Bosch, схема которой показана на рис. 2.16.

Здесь поршень упирается своей нижней частью в хвостовик иглы (собственно поршнем является только его верхняя часть, соприкасающаяся с втулкой по прецизионной поверхности). Управляющая камера над поршнем сообщается с входом топлива в форсунку через дроссель 6. Перед управляющим клапаном имеется вспомогательный дроссель 4, сечение которого меньше, чем у открытого клапана. Это ограничивает влияние неидентичности и нестабильности параметров управляющих клапанов форсунок одного двигателя.

Электрогидравлическая форсунка фирмы Siemens (рис. 2.17) отличается от рассмотренной форсунки фирмы Bosch только использованием пьезопривода управляющего клапана.

Главная цель применения пьезопривода — повышение быстродействия форсунки за счет увеличенного быстродействия управляющего клапана. По сравнению с обычными электромагнитными приводами оно увеличивается в 4–6 раз; этого достаточно для осуществления, например, стабильного предварительного «пилотного» впрыскивания, составляющего по объему около 1% от номинальной подачи топлива, с целью снижения шумности двигателя.

Управляющая камера расположена над приводным поршнем, который вместе с пружиной создает силу, запирающую иглу. Пьезоактуатор, поскольку его пьезодеформация недостаточна для необходимого открытия клапана 5, перемещает его при помощи рычажного механизма и толкателя. Особенность рычажного механизма — изменение длин плеч по ходу пьезоактуатора. Вначале для ускорения трогания и разгона клапана создается наибольшая сила, а затем соотношение длин плеч меняется для увеличения перемещения клапана уже при уменьшенной силе.

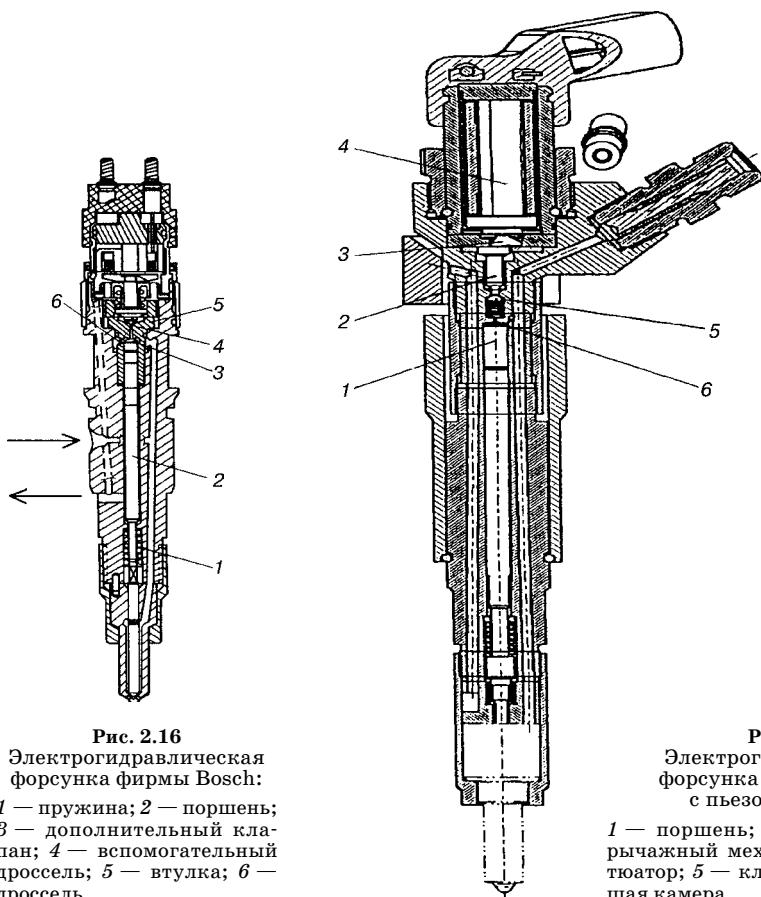


Рис. 2.16

Электрогидравлическая форсунка фирмы Bosch:
 1 — пружина; 2 — поршень;
 3 — дополнительный клапан;
 4 — вспомогательный дроссель;
 5 — втулка; 6 — дроссель.

Рис. 2.17

Электрогидравлическая форсунка фирмы Siemens с пьезоактуатором:

1 — поршень; 2 — толкатель; 3 — рычажный механизм; 4 — пьезоактуатор; 5 — клапан; 6 — управляющая камера.

Форсунка с пьезоприводом управляющего клапана благодаря более высокому быстродействию привода позволяет расширить диапазон устойчивых подач топлива, а за счет более высокой крутизны фронтов (характеристики впрыскивания) повысить точность дозирования. Таким образом, пьезопривод позволяет гарантировать более высокую идентичность подач топлива в цилиндры на различных и, что особенно важно, даже на малых частотах вращения. С его помощью организуется не только предварительное, но и дробное впрыскивание топлива. Это позволяет оптимизировать рабочий процесс в цилиндрах, снизить уровень шума двигателя, уменьшить продолжительность холодного пуска двигателя, повысить стабильность частоты вращения холостого хода, существенно уменьшить выбросы СН.

Недостатком конструкции форсунки фирмы Siemens является применение в приводе управляющего клапана промежуточного механизма с трещущимися частями, которые снижают стабильность характеристик форсунки и в итоге ее надежность. Другой недостаток состоит в том, что управляющий клапан имеет один затвор. Поэтому — как, впрочем, и для всех электрогидравлических форсунок с однозатворными управляющими клапанами —

происходит довольно значительный расход топлива, перепускаемого на слив, что приводит к увеличению температуры топлива и требует применения дополнительных мероприятий для охлаждения топлива, поступающего обратно в топливный бак.

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ФОРСУНКИ С ОДНОЗАТВОРНЫМИ УПРАВЛЯЮЩИМИ КЛАПАНАМИ И ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ

В рассмотренных простейших форсунках с однозатворными управляющими клапанами и дроссельным приводом иглы расход топлива на управление не менее чем в 2 раза больше подачи в цилиндр. Другой их недостаток — ограниченность уровня минимально устойчивых подач, определяемая низким быстродействием гидроприводов.

Основное средство улучшения характеристик этих форсунок с однозатворными управляющими клапанами — использование в их гидроприводах обратных связей, которые позволяют уменьшить расход топлива на управление и потери в канале впрыскивания при повышении или, по крайней мере, без снижения быстродействия этих форсунок. Обратные связи могут быть выполнены полностью в гидравлической части форсунок без усложнения электрических элементов системы (электропривода управляющего клапана и силовой электроники).

Электрогидравлическая форсунка с использованием отрицательной обратной связи по положению поршня, а следовательно, и иглы, показана на рис. 2.18.

В управляющей камере над приводным поршнем на входе в сливной канал этой форсунки имеется дополнительный клапан, обеспечивающий обратную связь. Ее действие заключается в уменьшении проходного сечения дополнительного клапана по мере подъема иглы, вследствие чего сокращается расход топлива из управляющей камеры и давление в ней повышается.

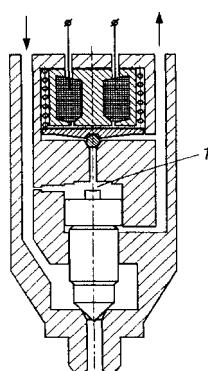


Рис. 2.18
Схема

электрогидравлической
форсунки с однозатворным
управляющим клапаном и
отрицательной обратной
связью в гидроприводе по
положению иглы (1 —
дополнительный клапан)

Игла поднимается до положения, при котором произведение давления в управляющей камере на действующую площадь поршня станет равным произведению давления под иглой на ее площадь. Расход топлива через управляющую камеру будет минимально необходимым для удержания иглы в открытом состоянии.

Рассмотренная обратная связь действует наиболее эффективно в районе верхнего упора, причем при открытии иглы — как отрицательная, а при закрытии — как положительная. Недостатком форсунок с такой обратной связью является возможность колебаний иглы в верхнем равновесном положении. Он может быть устранен выполнением упора, предотвращающего выход иглы с поршнем в положение, где достигимо равновесие.

При достаточно малом объеме канала между дополнительным и управляющим клапанами запаздывание начала закрытия иглы может быть

даже меньше, чем в форсунках без обратной связи, так как в начале закрытия иглы исходное давление в управляющей камере с обратной связью выше. По этой схеме выполнена большая часть серийно выпускаемых электрогидравлических форсунок (в частности, фирмы Bosch, ее схема показана на рис. 2.16). Дополнительный клапан 3 образован выступом в верхней части поршня, перекрывающим вход в сливной канал, на выходе которого действует шаровой затвор управляющего клапана.

Расход топлива на управление в форсунках с отрицательной обратной связью по положению иглы может быть снижен до 63% от цикловой подачи в цилиндр. Введение такой обратной связи сокращает время движения иглы на 7%.

По расходу топлива в канале управления и быстродействию более эффективны форсунки с положительными обратными связями в гидроприводе иглы. Такие связи создают лавинообразное ускорение движений иглы до упоров, т. е. релейную характеристику.

В варианте, показанном на рис. 2.19 a , дополнительно установлен двухсторонний клапан, торцевые затворы которого действуют на входные отверстия соответственно в канал впрыскивания и в управляющую камеру.

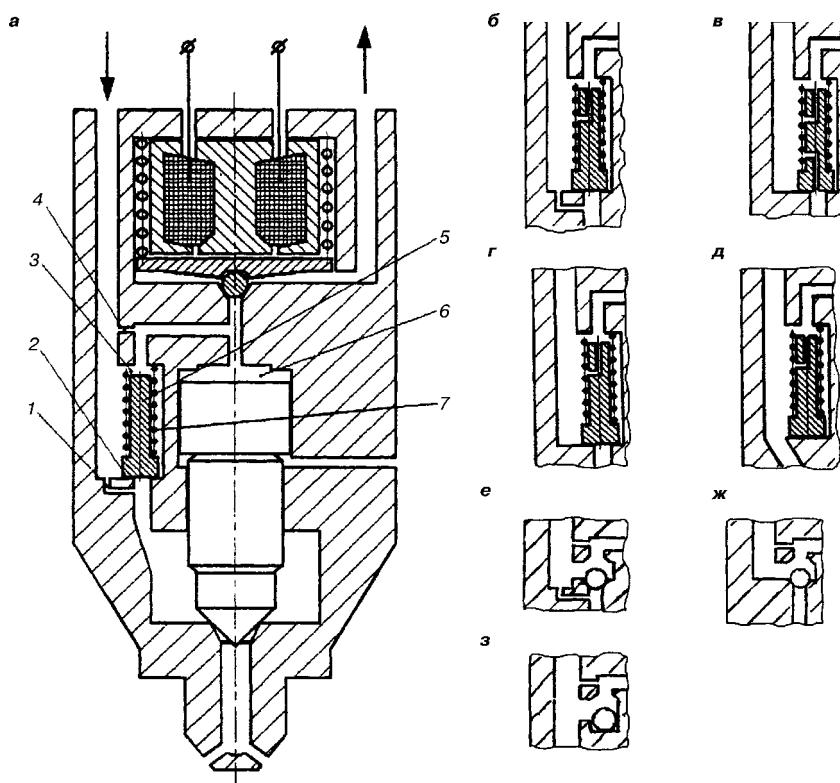


Рис. 2.19

Схемы электрогидравлических форсунок с однозатворными управляющими клапанами и положительными обратными связями по разности давлений в гидроприводе:

1, 4 — постоянные дроссели; 2, 3 — торцевые затворы; 5 — двухсторонний клапан; 6 — управляющая камера; 7 — пружина.

Параллельно в эти же каналы топливо может попасть через постоянные дроссели сравнительно малого сечения. Двусторонний клапан управляет гидравлическими сопротивлениями входных отверстий управляющей камеры и канала впрыскивания путем положительной обратной связи по разности давлений в этих камерах.

Положительная обратная связь увеличивает нелинейность привода иглы. При открытии управляющего клапана давление в камере падает и на двустороннем клапане создается перепад давления; он поднимается и закрывает основной вход. Давление в камере еще больше снижается, игла поднимается быстрее, а расход топлива на управление ограничивается постоянным дросселем 4 малого сечения.

После выключения управляющего клапана давление в камере начнет повышаться и в некоторый момент на двустороннем клапане сила, действующая вниз, оказывается больше силы, действующей вверх. Этот клапан перемещается вниз, закрывая основной вход в канал впрыскивания и открывая основной вход в управляющую камеру. Давление в ней еще увеличится, а под иглой дополнительно уменьшится. Закрытие иглы ускоряется.

Для регулирования моментов трогания двустороннего клапана он может быть снабжен пружиной 7 и выполнен с разными действующими площадями в управляемых каналах.

Конструкция такой форсунки может быть упрощена путем переноса одного из постоянных дросселей, например верхнего (создающего падение давления в камере управления), или обоих постоянных дросселей на сам дополнительный клапан (рис. 2.19б, в).

Постоянный дроссель в канале впрыскивания необязателен (рис. 2.19г); без него форсунка может автоматически выключаться, например при зависании иглы, чего не обеспечивают другие схемы форсунок. Вообще можно полностью отказаться от управления в канале впрыскивания (рис. 2.19д).

При подборе варьируемых параметров электрогидравлической форсунки можно исключить пружину, ускоряющую возврат дополнительного клапана в нижнее положение. Тогда конструкцию самого клапана можно существенно упростить, изготовив, например, в виде шарика (рис. 2.19е). Конструкцию с шариковым дополнительным клапаном тоже можно упростить, отказавшись от постоянного дросселя (рис. 2.19ж) и управления в канале впрыскивания (рис. 2.19з).

Расход топлива на управление в электрогидравлических форсунках с положительной обратной связью по разности давлений в управляющей камере и канале впрыскивания может быть снижен до 35% от цикловой подачи в цилиндр. Время движения иглы сокращается также на 35%.

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ФОРСУНКИ С ДВУХЗАТВОРНЫМИ УПРАВЛЯЮЩИМИ КЛАПАНАМИ

Существенный недостаток форсунок с дроссельным управлением, осуществляемым однозатворным управляющим клапаном даже при использовании обратных связей, — это расход топлива в канале управления (через управляющую камеру на слив) при открытом положении управляющего клапана,

он близок по продолжительности впрыскиванию топлива в цилиндр. Данное обстоятельство требует увеличения производительности, потребляемой мощности и габаритов топливного насоса высокого давления (ТНВД) и его привода. Наиболее полно этот недостаток устраняется применением в форсунках двухзатворных управляющих клапанов, которые одновременно изменяют сопротивление на входе и выходе из управляющей камеры и исключают расход топлива через управляющую камеру во время установившегося впрыскивания. Такое исполнение управляющей части форсунки уменьшает необходимый ход управляющего клапана, повышает ее быстродействие и снижает расход топлива на управление.

На рис. 2.20 представлена схема форсунки, где электрический привод состоит из электромагнита и подвижного штока в сборе с якорем. Затворы, действующие на входе и выходе управляющей камеры, выполнены на торцах подвижного штока.

Практическая реализация подобных управляющих клапанов в форсунках представляет существенные конструктивные и технологические трудности из-за необходимости преодоления значительных сил, создаваемых давлением топлива на нормально открытом затворе, усложнения конструкции и технологии изготовления клапана для обеспечения гидроплотности двух затворов, увеличения его массы и сопротивления движению. Это снижает ценность достигаемого выигрыша в расходе топлива и быстродействии форсунки.

Радикально улучшаются характеристики электрогидравлических форсунок при применении двухзатворных клапанов, разгруженных от гидравлических сил, создаваемых давлением топлива, с самоустанавливающимися затворами, например по схеме рис. 2.11e. Такая форсунка представлена на рис. 2.21. Топливо поступает в управляющую камеру через подводящий канал, где имеется нормально открытым затвором управляющего клапана.

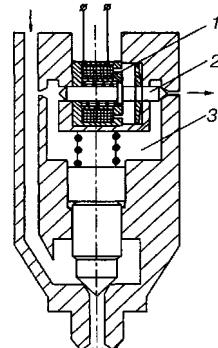


Рис. 2.20
Схема электрогидравлической форсунки с двухзатворным управляющим клапаном:
1 — электромагнит; 2 — якорь в сборе;
3 — управляющая камера.

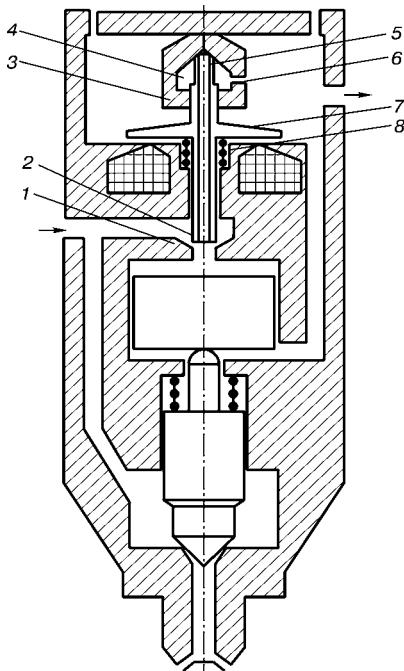


Рис. 2.21
Схема электрогидравлической форсунки с двухзатворным клапаном и обратной связью по положению управляющего клапана:
1 — нормально открытый затвор; 2 — управляющий клапан; 3 — самоустанавливающаяся втулка; 4 — внутренняя полость втулки; 5 — нормально закрытый затвор; 6 — сливные отверстия; 7 — якорь; 8 — пружина.

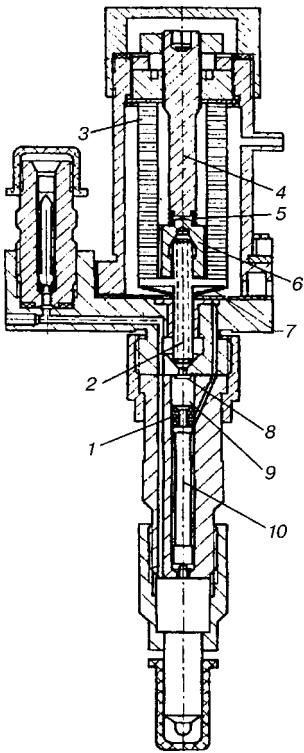


Рис. 2.22

Электрогидравлическая форсунка с двухзатворным разгруженным пьезоэлектрическим управляемым клапаном:

1 — пружина иглы; 2 — управляющий клапан; 3 — пьезоактуатор; 4 — упор втулки; 5 — пружина втулки; 6 — втулка; 7 — коническая пружина; 8 — управляющая камера; 9 — поршень; 10 — толкатель.

В сливном канале в самоустанавливающейся втулке 3 размещен нормально закрытый затвор 5 управляющего клапана, он снабжен возвратной пружиной 8 и приводится в действие (в представленном примере) электромагнитом-соленоидом. При отсутствии давления топлива (на неработающем двигателе) пружина поднимает клапан вместе с втулкой вверх до упора, исключая тем самым подтекание топлива из аккумулятора через управляющую камеру.

Самоустанавливаемость втулки позволяет независимо выполнять направляющие и затворы на обоих концах клапана, что упрощает его изготовление и повышает надежность в эксплуатации.

В форсунках с разгруженными клапанами могут быть применены все указанные ранее варианты использования дифференциальных эффектов и обратных связей. Например, если диаметр нижней части управляющего клапана больше эффективного диаметра верхнего нормально закрытого клапана, но меньше диаметра верхней части управляющего клапана, то в исходном положении дифференциальная сила, дополнительно запирая закрытый клапан, направлена вверх. После отрыва клапана от верхнего седла, при дросселировании в сливных отверстиях 6, давление во внутренней полости 4 самоустанавливающейся втулки начинает приближаться к давлению в управляющей камере. Оно действует на большую площадь управляющего клапана, чем его же площадь в управляющей камере, поэтому дифференциальная сила на клапане изменяет знак и растет по мере движения клапана вниз. Возникает положительная обратная связь по положительному клапана, ускоряющая его движение и соответственно открытие форсунки.

У двухзатворных разгруженных клапанов необходимый максимальный ход в 2–4 раза меньше, чем у однозатворных, что снижает расход топлива на управление при перемещениях клапана. Вообще двухзатворные управляющие клапаны позволяют максимально использовать преимущества пьезоэлектрического привода управляющих клапанов. Исключается рычажная или другая повышающая передача в приводе клапана и уменьшаются размеры всего управляющего клапана.

В МГТУ МАМИ совместно с ГНЦ НАМИ разработана электрогидравлическая форсунка с пьезоэлектрическим двухзатворным разгруженным управляющим клапаном без повышающей передачи (рис. 2.22).

Пьезоактуатор выполнен из 306 пьезокерамических колец толщиной 0,3 мм в форме полого цилиндра. Он управляется двухполарным напряже-

нием 300 В. Пьезоактюатор постоянно сжат конической пружиной 7, которая создает силу формовки, необходимую для длительного сохранения работоспособности пьезоактюатора. Внутри него размещены самоустанавливающаяся втулка, ее упор и относительно слабая пружина 5, обеспечивающая исключение утечек топлива на неработающем двигателе прижатием втулки к верхнему затвору клапана при отсутствии давления топлива. При подаче давления на форсунку оно преодолевает силу пружины и устанавливает втулку на упор. Закрытое состояние иглы на неработающем двигателе при отсутствии давления топлива обеспечивается относительно слабой пружиной 1, установленной между поршнем и толкателем.

В нерабочем состоянии пьезоактюатор, при отсутствии на нем напряжения, находится в нейтральном положении. Прижатый к его нижнему торцу клапан — соответственно в среднем положении.

При запуске двигателя на пьезоактюатор подается отрицательное напряжение, под действием которого он сжимается, и клапан перемещается в крайнее верхнее исходное положение, закрывая затвор во втулке. Топливо, поступающее под давлением через нижний нормально открытый затвор клапана в камеру управления, воздействуя на поршень через толкатель, закрывает иглу.

Для открытия форсунки отрицательное напряжение на пьезоактюаторе сменяется положительным. Он удлиняется и, смешая клапан вниз, переключает затворы. Управляющая камера разобщается с подводом топлива и сообщается со сливом по лыскам, выполненным на цилиндрической поверхности клапана, сопряженной с втулкой. Давление в управляющей камере падает, игла поднимается и начинается впрыскивание. Для завершения впрыскивания производится обратное переключение напряжения на пьезоактюаторе.

Совершенствование пьезоэлектрических приводов продолжается, но тем не менее в ближайшее время приходится все же ориентироваться на применение освоенных в производстве, а тем более — усовершенствованных форсированных электромагнитных приводов.

Для многих функций, выполняемых электрогидравлическими форсунками, быстродействие при закрытии важнее, чем при открытии. Например, крутизна заднего фронта характеристики впрыскивания во всех случаях более целесообразна, чем переднего. Обеспечение этого в форсунках с электромагнитным приводом двухзатворных разгруженных управляющих клапанов целесообразно путем применения электромагнитов двойного действия: привод двойного действия создает характеристику, аналогичную характеристике поляризованного пьезоэлектрического привода. Схема электрогидравлической форсунки с двухзатворным разгруженным клапаном и электромагнитом двойного действия показана на рис. 2.23.

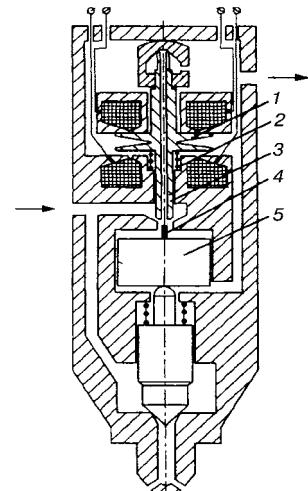


Рис. 2.23

Электрогидравлическая форсунка с двухзатворным разгруженным клапаном и электромагнитом двойного действия:

1 — якорь; 2 — пружина; 3 — управляющий клапан; 4 — хвостовик; 5 — поршень.

Управляющий клапан соединен с двухтарельчатым якорем 1. Верхний электромагнит дополняет или даже заменяет другие средства создания сил, возвращающих якорь в исходное положение и удерживающих его там. Функцией пружины 2 может оставаться только исключение утечек топлива на неработающем двигателе. Тогда нижнему электромагниту, обеспечивающему открытие форсунки, противодействует уменьшенная сила, что позволяет повысить его быстродействие или снизить энергопотребление.

В таких форсунках могут быть применены дифференциальные эффекты и обратные связи в управляющих клапанах, аналогичные используемым в форсунках по схеме рис. 2.21. Но для улучшения характеристик в форсунках с двухзатворными разгруженными клапанами можно организовать и более глубокую, чем при однозатворных клапанах, положительную обратную связь, охватывающую клапан и гидропривод. Она особенно целесообразна для электромагнитных приводов клапанов, позволяя приблизить их по быстродействию к пьезоэлектрическим. Для этого достаточно разместить на свободном верхнем торце поршня 5 хвостовик 4 (рис. 2.23). При сработавшем клапане, т. е. достигшем нижнего положения, и поршне, поднявшемся до своего упора, хвостовик должен хотя бы частично входить во внутренний канал клапана или прикрывать вход в этот канал снизу. Обратная связь, создаваемая хвостовиком, может проявиться только при указанном относительном положении клапана и поршня, т. е. только после максимального подъема иглы. На открытие форсунки и на установившийся процесс впрыскивания топлива эта обратная связь влияния не оказывает. Но в процессе закрытия форсунки в начале открывания нормально открытого затвора управляющего клапана (в результате отпадания электромагнита) вход в канал клапана прикрыт и имеет увеличенное гидравлическое сопротивление.

Рост давления во втулке существенно отстает от роста давления в управляющей камере. Создается дополнительная времененная гидравлическая сила на клапане, ускоряющая его движение вместе с якорем электромагнита к исходному положению. Дополнительная гидравлическая сила может существенно превосходить силу возвратной пружины, или второго электромагнита, или даже их сумму. При необходимости возможно и совместное использование любых комбинаций возвращающих сил, но, как правило, достаточно одной гидравлической для существенного увеличения скорости закрытия клапана. Несколько ускоряется и трогание поршня в сторону закрытия иглы, что дополнительно ускоряет процесс завершения впрыскивания.

Уменьшается и расход топлива в канале управления во время перелета клапана с одного упора на другой. В форсунках с положительной обратной связью по относительному положению поршня и клапана общий расход топлива на управление может снизиться по крайней мере до 15% от подачи в цилиндр.

Дальнейшее увеличение числа затворов у управляющих клапанов или увеличение числа одно- или даже двухзатворных управляющих клапанов в одной электрогидравлической форсунке, не создавая очевидных преимуществ по сравнению с введением обратных связей, существенно усложняет их устройство, стоимость и увеличивает габариты.

2.2.7. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КЛАПАНЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

В двигателях для управления основными потоками газов используют преимущественно тарельчатые клапаны.

Наиболее сложны задачи и трудны условия электроуправления клапанами газораспределения двигателей. Ход и масса подвижных деталей этих клапанов, практически только электромагнитных, не менее чем на порядок пре-восходят аналогичные параметры клапанов топливных систем двигателей при существенно меньшей разнице требуемого быстродействия. Электрический привод клапанов позволяет заменить механические силовые и управляющие связи в системах газораспределения информационными, что со-зывает новые возможности совершенствования процессов в двигателях и их конструктивного исполнения. В частности, электромагнитные клапаны газораспределения позволяют управлять фазами их открытия и закрытия независимо от частоты вращения коленчатого вала, фазового положения поршней и расхода воздуха через двигатель без применения дросселирова-ния потока во впускном коллекторе. Так появляется возможность управ-лять процессами наполнения и продувки в каждом цилиндре.

Любое количество цилиндров двигателя с четырьмя клапанами может переобразовываться в любой момент в трех- или двухклапанные и обратно. Также на ходу рабочий процесс может изменяться с двухтактного на четы-рех- и шеститактный. При этом в сочетании с управлением подачей топлива возможно наиболее полно оптимизировать рабочие процессы в двигателе.

Электронное управление фазами позволяет исключить сжатие воздуха в цилиндрах при прокрутке двигателя стартером. Продолжительность пуска и затраты энергии на него сокращаются, что позволяет уменьшить необхо-димую мощность, массу и габариты стартера и емкость электрического акку-мулятора. Аналогично расширяются возможности торможения автомобиля двигателем. Повышаются также эффективность и безопасность отключения на холостом ходу и малых нагрузках части цилиндров (циклов), так как в дополнение к отключению подачи топлива исключаются насосные потери, расход наддувочного воздуха; снижается охлаждение отключенных цилин-дров.

Электрический привод клапанов газораспределения устраниет распре-делительный вал, все детали, связанные с ним, систему их смазки, привод, а также устройство дросселирования воздушного потока в коллекторе и при-вод к нему. Упрощаются конструкции головки цилиндров и впускного кол-лектора. Масса головки сокращается примерно на 30%. Использование кла-панов газораспределения для дросселирования потока уменьшает насосные потери на 80%.

За счет прямого воздействия на клапаны и отсутствия дросселирования в коллекторе двигателя снижаются потери на трение. В направляющих элек-тромагнитных клапанов газораспределения нет радиальных нагрузок, что сни-жает в них трение и позволяет уменьшить массу. Общее сокращение потерь на трение в системе газораспределения достигает 90%. Расход электрической

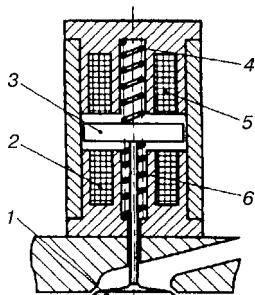


Рис. 2.24
Схема
электромагнитного
клапана
газораспределения:
1 — клапан; 2, 5 — обмотки электромагнитов;
3 — якорь; 4, 6 — пружины.

энергии в электромагнитном приводе примерно на порядок меньше этого сокращения.

Практическое применение пока нашли электрические клапаны газораспределения с электромагнитами-соленоидами двойного действия с притягивающимся якорем, конструктивная схема которых показана на рис. 2.24; возможно использование и других видов электромагнитов одно- и двухстороннего действия, в том числе и геленоидов.

В клапане имеются две встречно действующие пружины 4 и 6. При выключенных электромагнитах (отсутствии токов в обмотках) они удерживают якорь и соответственно клапан в промежуточном приоткрытом положении (между седлом и максимальным ходом, ограничиваемым нижним упором якоря). Если пружины идентичны, то они удерживают якорь в середине хода клапана.

Тяговые характеристики электромагнитов существенно нелинейны, и в исходном положении якоря электромагнитные силы могут оказаться недостаточными для его необходимого разгона. Во время пуска двигателя переменный по направлению и величине поток воздуха создает на клапане переменные силы, которые способны вывести якорь в зоны, где электромагнитные силы достаточны для ощутимого воздействия на него. При синфазном создании переключением соленоидов переменных электромагнитных сил возможно нарастание амплитуды колебаний якоря и клапана. В результате якорь окажется надежно притянутым к одному из упоров, и сила соответствующего соленоида сможет удержать его до заданного момента. После отключения этого соленоида силы деформированных до предела пружин разгоняют якорь настолько, что он по инерции выйдет в зону надежного притяжения включенного к этому моменту противоположного соленоида. Якорь и клапан займут необходимое положение и будут удерживаться в нем до очередного переключения соленоидов. Далее движение клапана определяется только электрическими воздействиями на клапан. Почти вся энергия, необходимая для перемещения клапана, в каждом цикле накапливается в пружинах.

Электрическая энергия используется только на удержание клапана для компенсации потерь в обмотках и магнитопроводах соленоидов, потерь на демпфирование пружин и потерь на трение в направляющих клапана. Описанный алгоритм управления клапанами газораспределения обеспечивает минимизацию энергопотребления электромагнитами, их приемлемые габариты.

Главная трудность обеспечения надежной работы электрических клапанов газораспределения — необходимость выполнения мягкой посадки на седло. Алгоритмы управления и устройства, применяемые для ее реализации, разработчиками не публикуются — аналогично методам и средствам создания необходимых запирающих сил, компенсации температурных деформаций.

ций и износа клапанов. Схема, показанная на рис. 2.24, реализована, например, в электромагнитном клапане фирмы Aura Systems (США) EVA (Electromagnetic Valve Actuator). Опубликованы данные по EVA для двигателей легковых автомобилей фирмы Ford: ход клапана — до 8 мм, ток удержания притянутого якоря — 0,5 А, электрическая мощность, потребляемая клапаном при частоте вращения двигателя 6000 мин⁻¹, — 66 Вт (предельная обеспечиваемая частота — 9000 мин⁻¹), время полного перемещения клапана — не более 2,5 мс. Аналогичные разработки выполняются также фирмами Toyota, BMW и др.

2.2.8. ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКИЕ КЛАПАНЫ УПРАВЛЕНИЯ НАДДУВОМ И РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Управление наддувом и рециркуляцией отработавших газов не требует столь большого быстродействия, как управление газораспределением. С другой стороны, в этих системах целесообразно не только релейное, но и пропорциональное перемещение клапанов. Поэтому практическое применение в МПСУ наддувом и рециркуляцией отработавших газов нашли клапаны с усилийным приводом непрерывного действия и электромагнитными управляющими клапанами импульсного релейного действия. Поскольку в системах наддува и рециркуляции органически присутствуют воздух или газы под давлением, целесообразен пневматический усилийный привод. В некоторых вариантах исполнительных пневмоприводов микропроцессорных систем управления двигателей используют разжение, создаваемое чаще всего специальными электроприводными вакуумными насосами. На рис. 2.25 показана схема электропневматического клапана.

Внутренняя полость пневмопривода разделена податливой мембраной 6 на две камеры, из которых одна имеет сообщение с атмосферой, а другая (рабочая) 3 служит управляющей камерой. Последняя соединена с двухзатворным электрическим клапаном 2, который в одном положении подает в управляющую камеру пневмопривода атмосферное давление, а в другом — обеспечивает разжение, создаваемое вакуумным насосом 7. Центральная часть мембранны снабжена жесткими дисками, связанными через шток с клапаном 5 (затвором). В нижней камере пневмопривода расположена пружина 4, обеспечивающая закрытое положение клапана и его возвращение в это положение после выключения электрического управляющего клапана. При включенном электрическом клапане затвор приходит в крайнее положение, ограниченное упором в пневмоприводе. Широтно-импульсной модуляцией сигнала, подаваемого микроконтроллером 1

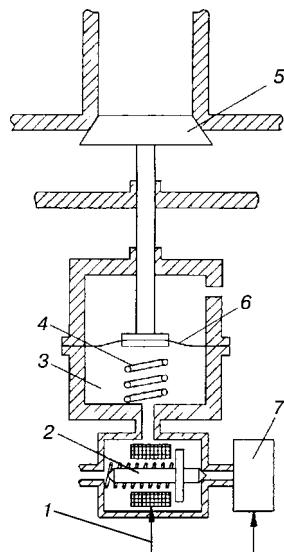


Рис. 2.25
Электропневматический клапан:

1 — микроконтроллер; 2 — управляющий клапан; 3 — управляющая камера; 4 — пружина; 5 — клапан; 6 — мембра; 7 — вакуумный насос.

на электрический клапан, устойчиво поддерживается любое промежуточное положение затвора.

Как правило, основные элементы электропневматических клапанов выполняют в виде набора автономных унифицированных узлов.

В электропневматических клапанах возможно использование разрежения, имеющегося в системах двигателя, например, во впускном тракте бензинового двигателя после дроссельной заслонки. При применении в качестве рабочей другой камеры пневмопривода не менее эффективно использование в электропневматических клапанах давления наддувочного воздуха. Применение вакуумных насосов с электрическим приводом целесообразнее только по надежности обеспечения стабильности характеристик пневмопривода.

Для повышения точности управления электропневматическими клапанами часто используют замкнутое регулирование по сигналу датчика положения клапана. В системах рециркуляции находят применение клапаны с приводом шаговым двигателем.

3

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМАЙЗЕРОМ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ХОЛОСТОГО ХОДА АВТОТРАНСПОРТА

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Бурный рост мирового автомобильного парка приводит к тому, что проблема снижения расхода топлива и уменьшения токсичности отработавших газов двигателей становится с каждым годом все более острой. В связи с этим большое внимание уделяется разработке различных устройств, в том числе и электронных, способствующих улучшению работы ДВС.

Применяющиеся в настоящее время системы автоматического управления экономайзером принудительного холостого хода (САУ ЭПХХ) существенно повышают экономичность двигателей — экономайзер вступает в работу в режиме принудительного холостого хода.

Двигатель работает в режиме принудительного холостого хода при торможении, переключении передач, движении автомобиля накатом и т. п. Он характеризуется повышенной частотой вращения коленчатого вала двигателя, превышающей частоту вращения его самостоятельного холостого хода, при полностью отпущенном педали газа (дроссельная заслонка карбюратора закрыта). В этом режиме от двигателя не требуется отдача мощности, так как коленвал вращается не за счет энергии сгорания топлива, а благодаря инерции движущегося автомобиля. Поэтому подача топлива в цилиндры на принудительном холостом ходу не только бесполезна, но и вредна, поскольку из-за неполного его сгорания происходит резкое увеличение количества токсичных компонентов в отработавших газах автомобиля.

В условиях городского движения доля режима принудительного холостого хода в полном времени работы автомобиля не превышает 20–30%, а в условиях горных дорог может приблизиться к 50% (торможение двигателем на спусках).

Система автоматического управления экономайзером принудительного холостого хода предназначена для прекращения

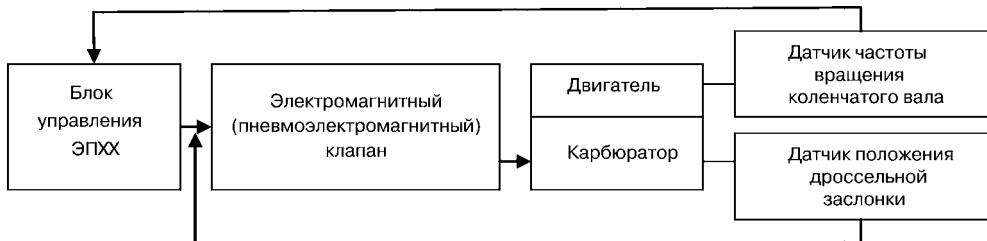


Рис. 3.1
Структурная схема САУ ЭПХХ

подачи топлива при работе двигателя в данном режиме. Экономия топлива в этом случае равна его расходу на холостом ходу двигателя, умноженному на время, в течение которого клапан закрыт. А при выработке водителем определенного стиля вождения экономия горючего в городских условиях может достигать более 5%.

В состав САУ ЭПХХ входит:

- ЭБУ;
- электромагнитный (пневмоэлектромагнитный) клапан;
- датчик положения дроссельной заслонки — концевой выключатель карбюратора (микропереключатель или датчик-винт);
- датчик частоты вращения коленчатого вала (первичная обмотка КЗ) (рис. 3.1).

САУ ЭПХХ грузовых и легковых автомобилей несколько отличается по алгоритму управления (набору правил, которым следует система при работе), схеме и конструктивному исполнению. Поэтому целесообразно рассматривать эти системы отдельно.

3.2. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМАЙЗЕРОМ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ХОЛОСТОГО ХОДА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

3.2.1. САУ ЭПХХ «КАСКАД»

Комплекс приборов «Каскад» состоит из ЭПХХ, отключающего подачу топливно-воздушной смеси на принудительном холостом ходу, а также пневмоэлектроклапана и электронного блока управления. Применение такой системы позволило повысить экономичность автомобиля и уменьшить токсичность отработанных газов при сохранении хороших ездовых качеств.

Питается двигатель на самостоятельном холостом ходу при использовании «Каскада» следующим образом. Основное количество воздуха поступает, минуя полностью закрытые дроссельные заслонки, в специальное смесеобразующее устройство. Там идет распыление топлива в движущемся с высокой скоростью потоке воздуха. А на принудительном холостом ходу отключается подача в двигатель не только топлива, но и воздуха. Продувка выпускного кол-

лектора уменьшается в 5–6 раз, следовательно, значительно снижается нежелательный унос паров и топливной пленки. Найденное техническое решение позволило резко (до 40%) снизить выброс СН, повысить эффективность торможения двигателем.

Принципиальная схема системы «Каскад» приведена на рис. 3.2.

Работает система ЭПХХ в различных режимах следующим образом.

До пуска двигателя микропереключатель 4 выключен рычагом 2 привода дроссельной заслонки. Игла клапана 11 экономайзера перекрывает выходное отверстие системы холостого хода.

При пуске двигателя ЭБУ 18 замыкает цепь питания пневмоэлектроклапана 16, который открывает доступ разрежению из впускного коллектора 13 по трубкам 14 и 15 к полости 8 экономайзера. Диафрагма экономайзера под действием разрежения оттягивает иглу клапана до упора в регулировочный винт 10 и открывает отверстие.

При работе на холостом ходу (менее 1300 об/мин) дроссельная заслонка 6 полностью закрыта. Контакты микропереключателя 4 разомкнуты. Через 18 цепь 16 замкнута. При этом полость 8 соединяется с впускным коллектором, и вследствие этого игла клапана удерживается в открытом положении. В зависимости от положения регулировочного винта 10 клапан открывается больше или меньше для прохода горючей смеси, чем и обеспечивается работа двигателя на холостом ходу. Микропереключатель

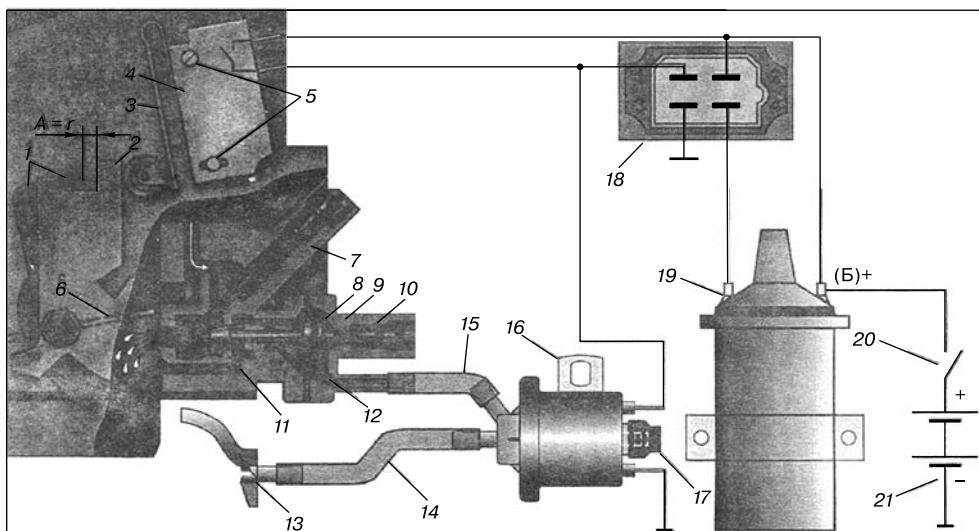


Рис. 3.2
Схема подключения системы «Каскад»:

1, 2 — рычаги управления приводом дроссельной заслонки; 3 — рычажок МП; 4 — микропереключатель (МП); 5 — винты, крепящие МП к кронштейну; 6 — дроссельная заслонка; 7 — винт качества; 8 — вакуумная полость экономайзера; 9 — крышка клапана экономайзера; 10 — винт количества; 11 — игла клапана экономайзера; 12 — диафрагма; 13 — впускной коллектор; 14 — трубка, соединяющая впускной коллектор с пневмоэлектроклапаном; 15 — трубка, соединяющая пневмоэлектроклапан с экономайзером; 16 — пневмоэлектроклапан; 17 — разгрузочный выход; 18 — ЭБУ; 19 — катушка зажигания; 20 — выключатель зажигания; 21 — аккумулятор.

в работе системы не участвует, так как его рычажок 3 нажат и контакты разомкнуты.

Нагрузочные режимы. При открытии дроссельной заслонки первичной камеры рычаг 2 поворачивается влево, освобождая рычажок микропереключателя, который включается и подает, так же как и электронный блок управления, напряжение питания к пневмоэлектроклапану. При увеличении оборотов двигателя до заданной величины (1500–1600 об/мин и более) электронный блок управления отключается, но пневмоэлектроклапан остается по-прежнему включенным благодаря микропереключателю.

Принудительный холостой ход. В момент отпускания педали акселерометра (торможение двигателем, движение под уклон с включенной передачей, при переходе на ПХХ), т. е. при закрытии дроссельной заслонки, рычаг 2 нажимает на рычажок микропереключателя и размыкает его контакты. Если в момент отпускания педали газа обороты двигателя были менее 1300 об/мин, работает система холостого хода. Если же в момент отпускания педали обороты двигателя были выше 1500 об/мин, питание на пневмоэлектроклапан не поступает ни с блока управления, ни с микропереключателем. Клапан закрывается. Разрежение из впускного коллектора в полость 8 ЭПХХ не поступает, и она соединяется с атмосферой через «разгрузочный» (вентиляционный) выход 17 клапана. Игла клапана ЭПХХ под действием разряжения во впускном коллекторе закрывает выходное отверстие системы холостого хода, прекращая подачу смеси. В этом режиме двигатель тормозит весьма эффективно и не расходует топлива.

При уменьшении частоты вращения до заданной величины (1100–1300 об/мин) датчик оборотов (блок управления 18) замыкает цепь питания пневмоэлектроклапана 16. Тот, в свою очередь, перекрывает отверстие 17, сообщенное с атмосферой, и открывает канал, соединенный с впускным коллектором. И тогда вновь создается разрежение в полости 8 экономайзера. Игла клапана открывает выходное отверстие холостого хода, в двигатель начинает поступать оттуда топливовоздушная смесь, и система переходит на режим холостого хода. Если же водитель нажмет на педаль газа, то питание на пневмоэлектроклапан поступит с микропереключателя, и система перейдет на нагрузочный режим.

Выключение зажигания прекращает подачу тока к обмотке пневмоэлектроклапана, и игла клапана экономайзера закрывает выходное отверстие холостого хода, предотвращая тем самым работу двигателя с самовоспламенением.

Порядок работы ЭПХХ в различных режимах представлен в табл. 3.1.

Система «Каскад» рассчитана на применение двухкамерного карбюратора с последовательным открытием дроссельных заслонок и имеет две раздельные секции впускных каналов для каждого цилиндра: первая соединена с первичной смесительной камерой карбюратора, вторая — со вторичной. Впускные каналы каждой секции сходятся в непосредственной близости от впускных клапанов. При движении на невысоких скоростях смесь поступает в основном через первую секцию впускного коллектора. Вторая, свободная в это время от топливной пленки, служит каналом для впуска воздуха на

Порядок работы экономайзера принудительного холостого хода

Режим	Наличие напряжения на выходе датчиков		Работа клапанов	
	микропереключателя	электронного блока	Клапан экономайзера	Пневмоэлектроклапан
Холостой ход (< 1300 об/мин)	Нет	Да	Открыт	Включен
Холостой ход (< 1600 об/мин)	Да	Нет	Открыт	Включен
Работа под нагрузкой	Да	Нет	Открыт	Включен
Переключение передач	Нет	Нет	Закрыт	Выключен
Принудительный холостой ход	Нет	Нет	Закрыт	Выключен

режиме ПХХ. При продувке цилиндров воздухом на этом режиме пленка из первой секции не «высушивается», а поскольку ее испарение резко замедлено из-за сильного снижения разряжения во впускном коллекторе, практически полностью сохраняется до следующего нагружочного режима. При этом во время торможения снижается расход не только топлива, но и масла.

Основное отличие двухкамерного карбюратора системы «Каскад» состоит в том, что он работает с пневмоэлектроклапаном и электронным блоком управления, установленными отдельно, а в конструкцию введены автономная система холостого хода, экономайзер принудительного холостого хода, микропереключатель (МП) и пневмопривод дросселя второй камеры.

ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ «КАСКАД»

Клапан экономайзера принудительного холостого хода. Устройство (см. рис. 3.2), устанавливаемое на корпусе дроссельных заслонок, состоит из диафрагмы 12, зажатой между корпусом и крышкой 9, и установленного в крышке винта 10 и иглы 11. Они образуют основной регулирующий элемент, которым управляет разрежение, возникающее во впускном коллекторе, который соединен с диафрагмой через пневмоэлектроклапан 16 резиновыми трубками 14 и 15. Винт 10, которым регулируется количество поступающей в двигатель смеси, ограничивает ход иглы с диафрагмой.

Микропереключатель смонтирован со стороны приводных элементов дроссельных заслонок на специальном кронштейне карбюратора. От точности его установки в основном зависит эффективность действия системы ЭПХХ. МП проверяют следующим образом: если он снят с карбюратора, нажмите на рычажок 3 микропереключателя 4 (рис. 3.2)

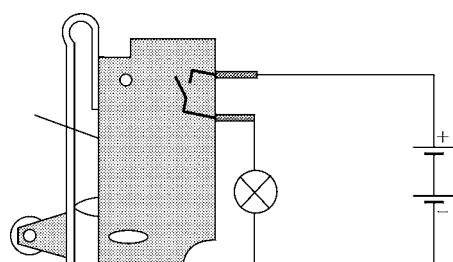


Рис. 3.3
Схема проверки микропереключателя

и отпустите его. Контрольная лампочка должна загореться при его свободном положении и погаснуть, когда он нажат.

Для регулировки МП на заведенной машине (во время регулировки двигатель должен быть хорошо прогрет) вначале надо снять с его вывода наконечник, соединенный с контактом 1 блока и с одним из выводов электромагнитного клапана. К освободившемуся выводу микропереключателя подключают один из проводов контрольной лампочки; второй ее провод соединяют с «массой». Если контрольная лампа горит уже на холостом ходу (ранняя регулировка срабатывания МП) или загорается после начала автоколебаний (поздняя регулировка) — когда вы, медленно открывая дроссельную заслонку, повышаете обороты до порога отключения, при этом двигатель должен работать с пульсацией частоты вращения (она хорошо заметна на слух), то положение микропереключателя необходимо скорректировать. Для этого ослабляют два винта 5 его крепления, по включению лампы подбирают нужное положение и вновь затягивают винты. У карбюратора 2140-1107010 («Москвич-2140» и ижевские машины) для этой операции есть специальный регулировочный винт. Если же контрольная лампа не загорается, значит, МП неисправен и его надо заменить (впрочем, иногда его достаточно только промыть).

Следует иметь в виду, что ранняя регулировка срабатывания МП снижает эффективность работы ЭПХХ вплоть до полной потери нужного эффекта, когда контакты МП замкнуты при отпущенном педали акселератора. Поздняя регулировка приводит к рывкам автомобиля при движении на малой скорости из-за автоколебательного режима работы двигателя. Поэтому целесообразно стремиться к возможно поздней регулировке, не допуская, однако, возникновения автоколебаний.

Для регулировки МП на неработающем двигателе необходимо включить зажигание и, плавно поворачивая рычаг 2 привода дроссельной заслонки в пределах свободного хода между ним и усиком рычага 1 ($A = 2$ мм), проверить установку МП: пневмоэлектроклапан должен включиться при крайнем левом положении рычажка 3, что будет слышно по характерному щелчку, и отключиться при крайнем правом. При этом ось дроссельной заслонки не-подвижна, а рычажок 3 двигается без заеданий. Если МП установлен неправильно, то следует ослабить винты 5, крепящие его к кронштейну, затем, перемещая МП 4 в пазу нижнего винта, зафиксировать его в необходимом положении, после чего вновь завернуть винты крепления и еще раз проверить.

Пневмоэлектроклапан 16 (рис. 3.2) предназначен для того, чтобы включать и отключать подачу разрежения к экономайзеру. В продаже встречается в нескольких модификациях:

- Zk12909 — сделан в Германии и качество соответствует изготовителю (расположение штуцеров отличается от отечественных аналогов);
- 1902.3741 — самый распространенный (хорошее качество);
- 2105-1127010-01 — много подделок (часто выходит из строя).

Часто применяют переходник к системам управления ЭПХХ и вакуумкорректору, который позволяет защитить пневмоэлектроклапан от воды и грязи, попадающих через вентиляционный штуцер, а также дает возможность системе при необходимости работать и без микропереключателя.

Электронный блок управления 18 (см. рис. 3.2) является важной составляющей системы управления ЭПХХ. Он отвечает за работу электропневмоклапана, регулируя ее в зависимости от частоты вращения коленчатого вала. У блока два граничных режима работы.

Чтобы проверить исправность блока управления, необходимо на холостом ходу снять штекер с одного из выводов микропереключателя, а затем, медленно открывая дроссельную заслонку, повысить обороты до порога отключения, в результате происходит отключение положительного потенциала на клемме 1 (напряжение на выводе не должно превышать 1,5 В). При этом двигатель должен работать с пульсацией частоты вращения (она хорошо прослушивается). Этот автоколебательный режим свидетельствует об исправности всех элементов системы, кроме микропереключателя, который проверяют отдельно.

При снижении оборотов двигателя до порога включения на клемме 1 появляется положительный потенциал (10 В). Если вызвать автоколебания не удается, а экономайзер и пневмоэлектроклапан системы исправны, то неисправен блок управления. Отсутствие положительного потенциала на клемме 1 (при наличии положительного потенциала на клемме 2 и отрицательного на клемме 3) говорит о неисправности блока и необходимости его замены или ремонта.

Ниже приведены принципиальные схемы заводских блоков управления ЭПХХ и разработанные частными авторами принципиальные схемы, которые способны заменить промышленные образцы.

Многие блоки имеют сходную конструкцию, а по разводке контактов полностью совпадают. Поэтому один блок можно заменить на другой, но при обязательном условии: предполагаемый для замены блок должен иметь пороги срабатывания не ниже, чем у заменяемого, иначе после отпускания педали газа (акселератора) двигатель при выходе на холостой ход может заглохнуть. Необходимо отметить, что при такой замене произойдет некоторое снижение эффективности работы экономайзера, что связано с ранним возобновлением подачи топлива при торможении двигателем. Поэтому лучше использовать блок управления того же типа (или отремонтировать вышедший из строя), или купленный блок настроить на соответствующие valuesдвигателю пороги срабатывания, или изготовить блок самостоятельно, настроив на указанные в таблице пороги срабатывания.

ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ЭПХХ 25.3761

Внешний вид блока показан на рис. 3.4.

Характеристики блока указаны в табл. 3.2, принципиальная схема представлена на рис. 3.5.

Принцип работы электронного блока 25.3761. Формирование сигнала управления пневмоэлектроклапаном происходит следующим образом.

При закрытой дроссельной заслонке (контакты микропереключателя разомкнуты) импульсы напряжения, пропорциональные частоте вращения коленчатого вала, поступают с первичной обмотки катушки зажигания на вывод 4 микросхемы A1 и через нее — на вход полупроводникового ключа,

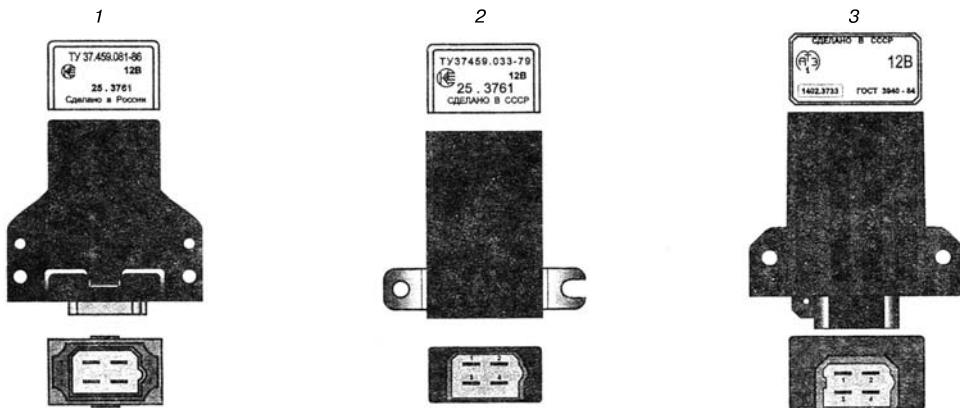


Рис. 3.4

Четырехштырьковые блоки управления экономайзером:

1 — 25.3761-ТУ 37.459.081-86; 2 — 25.3761-ТУ 37.459.033-79; 3 — 1402.3733, и его модификации 1412.3733, 1422.3733.

собранного на транзисторах VT1 и VT2. Во время действия импульса ключ открывается и конденсатор C2 заряжается. Время заряда, а следовательно, и напряжение на C2 увеличиваются с уменьшением частоты вращения коленчатого вала.

При частоте больше частоты холостого хода напряжение на конденсаторе C2 мало. Транзисторы VT3—VT6 закрываются, и на пневмоэлектроклапан напряжение не подается. Клапан закрывается, и подача топлива прекращается. Частота вращения коленчатого вала падает.

При частоте меньше частоты холостого хода C2 во время паузы между импульсами успевает зарядиться до напряжения, превышающего опорное порогового элемента, собранного на транзисторах VT3, VT4, которые при этом открываются, и через микросхему A2 напряжение подается на базу VT5, который, открываясь, обеспечивает открытие выходного VT6. На пневмоэлектроклапан при этом поступает напряжение, он срабатывает и включает подачу топлива.

При открытии дроссельной заслонки контакты микропереключателя замыкаются и напряжение бортовой сети постоянно поступает на пневмоэлектроклапан, который будет постоянно открыт независимо от сигнала блока управления.

При работе блока в классической (батарейной) системе зажигания с первичной обмотки КЗ на узел управления блока поступают короткие импульсы плюсовой полярности амплитудой около 300 В.

Если на автомобиле используется блок зажигания (коммутатор), у которого на первичной обмотке катушки зажигания импульсы имеют минусовую полярность, то электронный блок будет работать при несложной доработке.

Опытная эксплуатация подтвердила четкую работу электронного блока управления как от минусовых импульсов, снимаемых с первичной обмотки КЗ, так и от плюсовых, если возникла необходимость переключить зажигание с электронного на штатное — батарейное.

Характеристики четырехштыревых блоков управления ЭПХХ

Тип блока управления	Модель автомобиля	Порог отключения ($n_{\text{откл.}}$), об/мин/Частота включения ($f_{\text{вкл.}}$), Гц	Порог включения ($n_{\text{вкл.}}$), об/мин/Частота включения ($f_{\text{вкл.}}$), Гц	Диапазон частоты генератора, Гц	Длительность импульса, мс	Амплитуда импульса, В	Падение напряжения на выходном транзисторе, В
25.3761	ВАЗ-2105, -07, -21; АЗЛК 2141-01	$\frac{1150}{38 \pm 1,9}$	$\frac{1500}{50 \pm 2,5}$	1–200	$2,5 \pm 0,5$	100 ± 5	1,0
252.3761 (2523.3761)	М-2140; ИЖ-2125	$\frac{1250}{41,5 \pm 1,9}$	$\frac{1500}{50 \pm 2,5}$	1–200	$2,5 \pm 0,5$	100 ± 5	1,0
1402.3733	ЗАЗ-968М; РАФ	$\frac{1500}{50 \pm 2,5}$	$\frac{1900}{63 \pm 7,56}$	1–200	$1,0 \pm 0,1$	150 ± 15	1,0
1412.3733	ГАЗ-24-10; РАФ; УАЗ-469, -31512; М-412ИЭ; ИЖ-2715, -21251; ЛуАЗ-969М	$\frac{1200}{40 \pm 2,0}$	$\frac{1600}{53 \pm 6,36}$	1–200	$1,0 \pm 0,1$	150 ± 15	1,0
1422.3733	РАФ-22038; УАЗ	$\frac{1050}{35 \pm 1,75}$	$\frac{1400}{53 \pm 6,36}$	1–200	$1,0 \pm 0,1$	150 ± 15	1,0

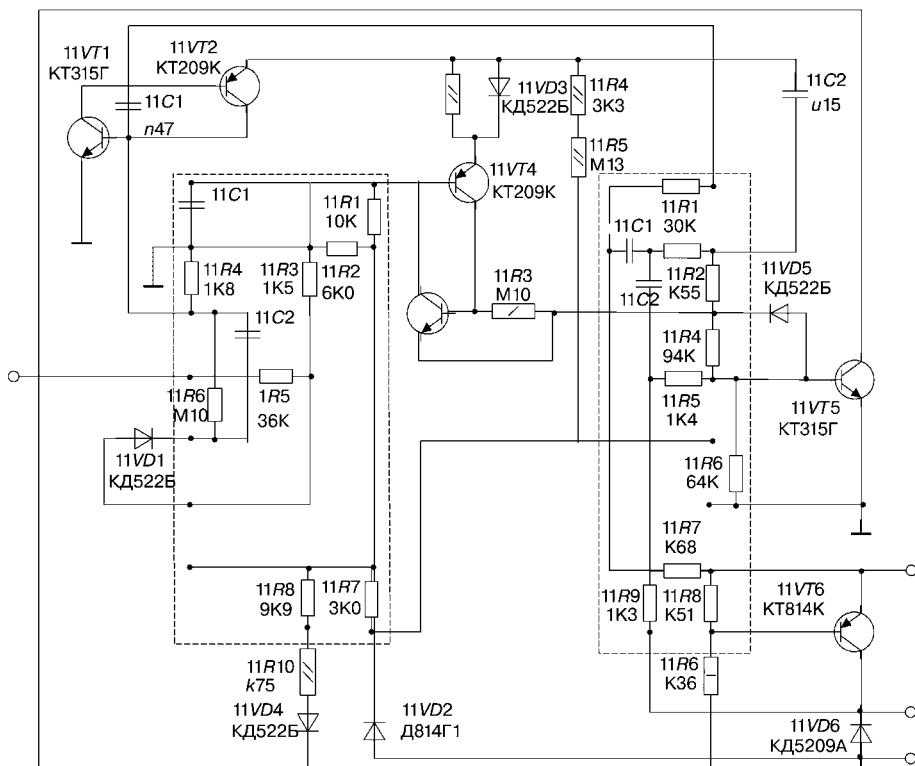


Рис. 3.5
Схема блока управления 25.3761-ТУ 37.459.081-86

**ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ЭПХХ 1402.3733
И ЕГО МОДИФИКАЦИИ 1412.3733, 1422.3733**

Внешний вид блока показан на рис. 3.4. Характеристики блоков указаны в табл. 3.2, модификации блоков отличаются только значениями порога срабатывания. Принципиальная схема представлена на рис. 3.6.

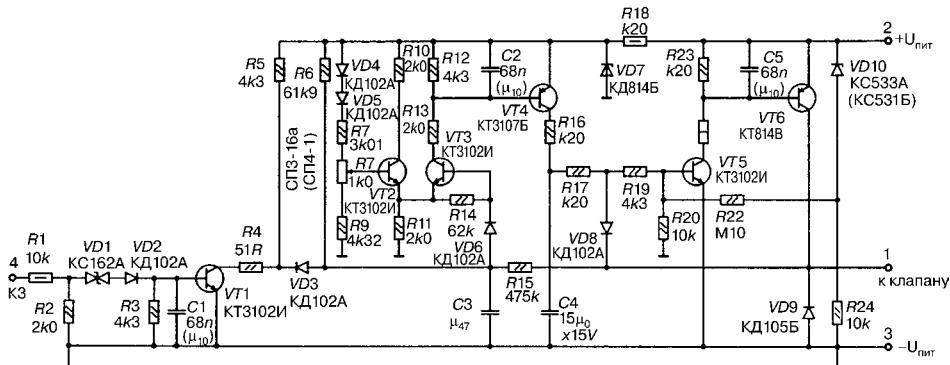


Рис. 3.6

Принципиальная схема блока управления экономайзером 1402.3733, 1412.3733, 1422.3733

**АНАЛОГ БЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ 25.3761 И 14.3733
ИХ МОДИФИКАЦИЙ**

На рис. 3.7 показана схема блока управления экономайзером; его работа синхронизирована с размыканием контактов прерывателя, что повышает стабильность порогов. Кроме того, он не боится случайного замыкания выхода блока на корпус.

Импульсы от катушки зажигания поступают на формирователь, состоящий из диода VD_1 , резисторов R_1-R_3 , конденсаторов C_1, C_2, C_4 , стабилизатора VD_2 и логического элемента $DD_{1.2}$. Всякий раз, когда на выходе элемента $DD_{1.2}$ появляется низкий уровень (а это происходит с частотой вспышек в двигателе), срабатывает одновибратор, выполненный на элементах $DD_{1.3}$ и $DD_{1.4}$. Фронт импульса на выходе $DD_{1.2}$ совпадает по фазе с размыканием контактов прерывателя системы зажигания, а на автомобилях с бесконтактной транзисторной системой — с закрыванием ключевого транзи-

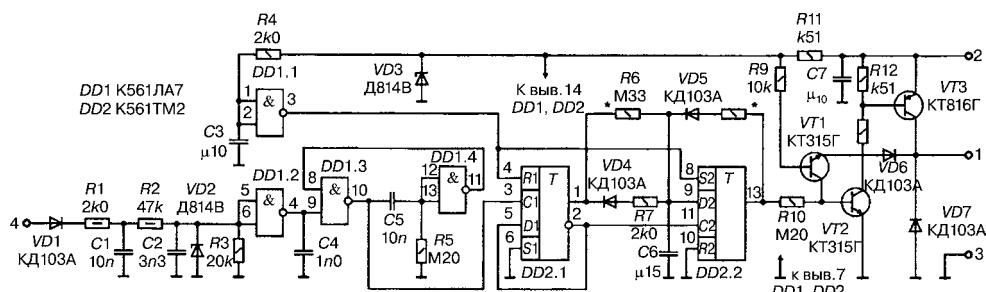


Рис. 3.7

Принципиальная схема аналога блоков управления экономайзером 14.3733 и 25.3761

стора, коммутирующего первичную обмотку КЗ. Поэтому триггер *DD2.1* переключается в эти же моменты. Он работает в счетном режиме, т. е. частота выходных импульсов вдвое ниже частоты искрообразования. Длительность импульсов равна текущему значению периода повторения импульсов системы зажигания.

При появлении импульса на прямом выходе *DD2.1* конденсатор *C6*, предварительно разряженный через цепь *R7*, *VD4* и выход триггера, медленно заряжается через резистор *R6* (предполагаем, что частота вращения коленчатого вала двигателя заведомо больше обоих порогов срабатывания блока управления). После окончания этого импульса *C6* вновь быстро разряжается через ту же цепь; *R7* ограничивает ток разрядки.

Триггер *DD2.2* играет роль элемента сравнения текущего значения периода повторения импульсов системы зажигания с длительностью процесса зарядки *C6*. Поскольку напряжение с этого конденсатора непосредственно подано на вход *D* триггера *DD2.2*, а вход *C* связан с инверсным выходом *DD2.1*, после упомянутого импульса *DD2.2* определяет, успел ли *C6* зарядиться до порогового значения напряжения по входу *D* (оно примерно равно половине напряжения питания микросхем) или нет. Если успел, то частота вращения уменьшилась до порога включения (при указанном номинале *R6* это около 1200 об/мин). Тогда *DD2.2* переключится из нулевого состояния в единичное. Теперь очередная зарядка *C6* будет происходить не только через *R6*, но и через цепь *R8*, *VD5*, т. е. конденсатор зарядится быстрее. Дальнейшее уменьшение частоты вращения не приведет к изменению состояния блока.

Если частота вращения повысится настолько, что после окончания импульса на выходе *DD2.1* напряжение на конденсаторе *C6* окажется меньше упомянутого порогового значения напряжения по входу *D* триггера *DD2.2*, то этот триггер переключится в нулевое состояние (при указанных номиналах *R6* и *R8* это произойдет примерно при 1500 об/мин). Из сказанного понятно, что введение цепи *R8*, *VD5* обеспечивает гистерезис (петлеобразность цикла срабатывания) блока по частоте вращения коленчатого вала двигателя. Он служит для устранения бесконтрольного многократного переключения в зоне срабатывания блока. Таким образом, при повышенной частоте вращения на выходе триггера *DD2.2* будет низкий уровень, а при пониженной — высокий.

Ключевой усилитель выходного триггера *DD2.2* выполнен на *VT2*, *VT3*. При нулевом состоянии этого триггера транзисторы закрыты, а при единичном — открыты, что и требуется для правильной работы блока управления.

Резистор *R9*, транзистор *VT1* и диод *VD6* составляют узел защиты от замыкания цепи нагрузки (электромагнитного клапана). Если аварийного замыкания нет, то *VT1* и *VD6* закрыты и не участвуют в работе блока. При замыкании они открываются и шунтируют эмиттерный переход *VT2*. При этом *VT2*, *VT3* закрываются, что предохраняет блок от выхода из строя. Диод *VD7* защищает транзистор *VT3* от всплесков напряжения самоиндукции обмотки электромагнитного клапана экономайзера.

Слаботочная часть блока питается от параметрического стабилизатора *R11*, *VD3*. Формирователь однократного импульса, собранный на резисторе *R4*,

конденсаторе $C3$ и элементе $DD1.1$, позволяет после включения зажигания принудительно установить триггеры $DD2.1$ и $DD2.2$ в нулевое и единичное состояние соответственно. При этом электромагнитный клапан экономайзера будет открыт, а $DD2.1$ — готов к анализу периода повторения импульсов зажигания.

Описанный блок может заменить любой заводской блок управления, требуется лишь установить стандартные пороги срабатывания (табл. 3.2): порог включения (подборкой резистора $R6$) и порог выключения (подборкой резистора $R8$).

3.2.2. САУ ЭПХХ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ КЛАПАНОМ

Система «Каскад» может быть установлена на любую модель автомобилей, но при условии соответствующей замены карбюратора и наличия дополнительных элементов — электронного блока и пневмоэлектроклапана. Вместе с тем на моделях ВАЗ-2103, -2106, -21021 система «Каскад» или ей подобная может быть установлена и без замены карбюратора и установки пневмоэлектроклапана. Карбюратор у этих моделей автомашин имеет специальный электромагнитный клапан в системе холостого хода, предназначенный для прекращения подачи топливной смеси после выключения зажигания (во избежание неконтролируемой работы двигателя от калильного зажигания). Этот клапан и может быть использован на принудительном холостом ходу.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КЛАПАН

Электромагнитный клапан (рис. 3.8) устанавливается в месте размещения топливного жиклера холостого хода первичной камеры.

В корпусе 4 установлен жиклер 1 холостого хода с калибровочным отверстием A . Внутри корпуса находится игла 2, конец которой прижимается пружиной к A и перекрывает его. С другой стороны к корпусу клапана припаян кожух 7 и надета катушка 6 электромагнита. Обмотка катушки намотана эмалированным проводом. Начало обмотки катушки припаяно к штекеру 8, а конец — к контактной пластине 5, которая через корпус клапана обеспечивает электрическое соединение с массой.

При выключенном зажигании питание катушки отключается; под действием пружины игла перекрывает отверстие A , прекращая поступление топлива в задроссельное пространство и обеспечивая мгновенную остановку двигателя.

Клапан, поставленный в вертикальное положение (иглой вниз), должен срабатывать при напряжении не более 9 В и температуре $100 \pm 2^\circ\text{C}$.

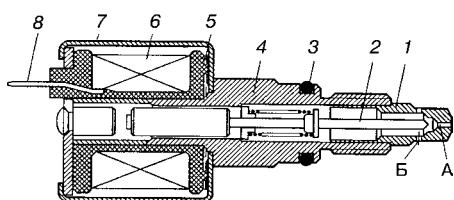


Рис. 3.8

Устройство электромагнитного клапана:
1 — жиклер холостого хода; 2 — игла; 3 — уплотнительное кольцо; 4 — корпус клапана; 5 — контактная пластина; 6 — катушка; 7 — кожух катушки; 8 — штекер; A — калибровочное отверстие; B — отверстие для вывода топлива в эмульсионный канал.

При перебоях в работе клапана необходимо проверить сопротивление катушки, и если оно отличается от номинального, заменить запорный клапан.

Для промывки жиклера холостого хода необходимо вывернуть клапан из карбюратора и вынуть жиклер из корпуса клапана, при этом проверить, нет ли повреждений на конце иглы и на седле жиклера. Перед установкой клапана следует убедиться в том, что игла свободно перемещается в корпусе и плотно перекрывает отверстие в жиклере.

Итак, при наличии электромагнитного клапана на карбюраторе введение ЭПХХ сводится к установке датчика закрытого положения дроссельной заслонки, а также электронного блока, который на основании информации о частоте вращения коленчатого вала двигателя вырабатывает сигнал, управляющий работой клапана.

В качестве датчика можно использовать микропереключатель, как у карбюратора автомобиля ВАЗ-2105 с системой «Каскад». При этом придется несколько изменить привод дросселя карбюратора.

БЛОКИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ КЛАПАНОМ

В качестве электронных блоков можно использовать заводские блоки управления, описанные выше, или самостоятельно собрать его по одной из предлагаемых схем.

Электронный блок управления на микросхеме серии K511

Такой блок можно изготовить по несложной схеме (рис. 3.9).

Активными элементами блока являются две микросхемы DD1 и DD2. На резисторах R1–R3, конденсаторах C1–C3, диодах VD1, VD2 и логическом элементе DD1.1 собран формирователь импульсов, поступающих от контактов прерывателя системы зажигания двигателя. Триггер DD2.1 служит для выделения периода повторения этих импульсов. Через буферный элемент DD1.2 сигнал поступает на формирователь временного интервала, состоящий из конденсатора C6, резисторов R4, R5 и элемента DD1.3. Триггер DD2.2 срабатывает при повышенной частоте вращения коленчатого вала (повышенной

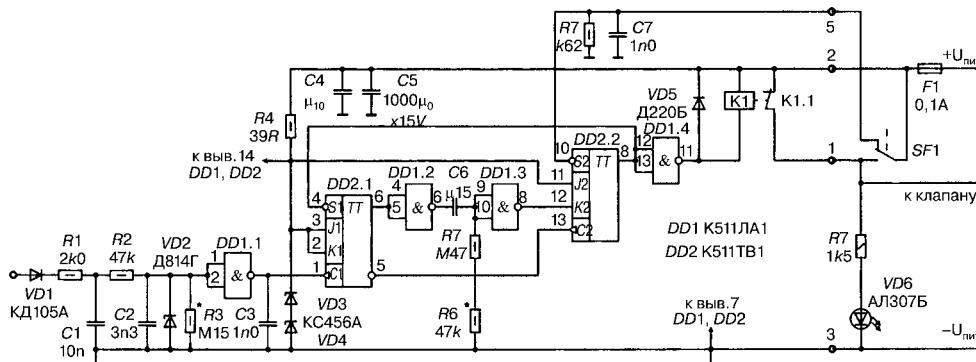


Рис. 3.9
Принципиальная схема электронного блока управления

можно условно считать частоту вращения, превышающую 1500 об/мин). Элемент $DD1.4$ работает усилителем мощности. Контакты микропереключателя $SF1$, кинематически связанных с приводом дросселя карбюратора, на схеме показаны в положении, соответствующем закрытому дросселю.

При минимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу (около 800 об/мин) реле $K1$ выключено и через его замкнутые контакты $K1.1$ и обмотку электромагнита клапана идет ток, что обеспечивает нормальную подачу топлива через систему хода карбюратора.

После нажатия на педаль управления дросселем подвижный контакт группы $SF1$ переключается в нижнее по схеме положение. При этом включается $K1$, его контакты $K1.1$ размыкаются, но клапан остается открытым, так как ток через обмотку его электромагнита продолжает протекать через $SF1$ и топливо продолжает поступать к двигателю. Таким образом, при нажатой педали акселератора работа двигателя не зависит от блока управления.

Если отпустить педаль при частоте вращения коленчатого вала, превышающей заданное значение (около 1500 об/мин), то $K1$ останется включенным (контакты $K1.1$ разомкнуты). Тогда обмотка клапана будет обесточена, поскольку при отпускании педали контакты $SF1$ вновь перейдут в первоначальное положение и подача топлива через систему холостого хода карбюратора прекратится. С уменьшением частоты вращения коленчатого вала двигателя до 1500 об/мин $K1$ выключается и подача топлива возобновляется. Следовательно, клапан прекращает подачу топлива на всех режимах, характеризующихся повышенной частотой вращения вала двигателя при закрытой дроссельной заслонке карбюратора, т. е. на режимах ПХХ.

Рассмотрим временную диаграмму напряжений на выходе некоторых элементов блока (рис. 3.10).

На выходе $DD1.1$ формируется импульсная последовательность с текущим значением периода T . При нажатой педали акселератора триггер $DD2.2$ блокирован в единичном состоянии, а $DD2.1$ работает в счетном режиме, поэтому на выходах $DD1.2$ и $DD1.3$ формируются импульсы с периодом повторения $2T$. На выходе $DD1.3$ формируются импульсы с паузой t_n , которая изменяется следующим образом: при низкой частоте вращения вала двигателя, когда период повторения импульсов T больше некоторого заданного значения τ , т. е. при $t > \tau$, $t_n = \tau$; при повышенной частоте вращения вала, когда период повторения импульсов T меньше τ , $t_n = T$.

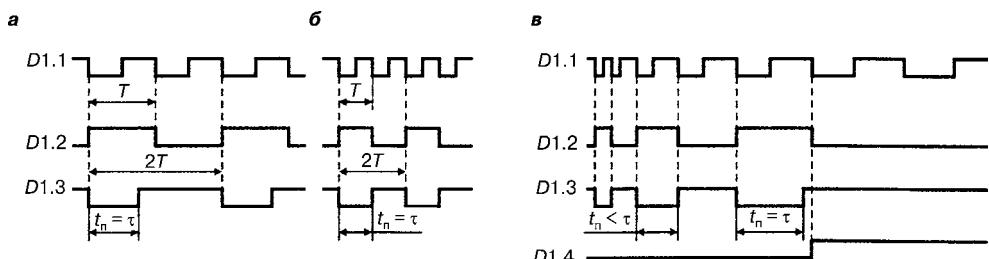


Рис. 3.10
Временные диаграммы на выходах микросхем

При отпущеной педали управления дросселем карбюратора $DD2.2$ работает как элемент сравнения текущего значения T с паузой τ . После отпускания педали частота вращения вала двигателя уменьшается (период повторения импульсов увеличивается), и в момент, когда текущее значение T превысит τ , триггер возвращается в нулевое состояние. Этот процесс показан на рис. 3.10, для наглядности временная диаграмма утрирована, реально период повторения импульсов системы зажигания не увеличивается столь быстро.

Для четырехтактного четырехцилиндрового двигателя на частоте вращения вала, равной 1500 об/мин, период повторения импульсов системы зажигания равен 20 мс, поэтому формирователь временного интервала должен быть настроен на 20 мс. Это значение определяет порог возобновления подачи топлива. Если установить его ниже указанного количества оборотов, то эффективность экономайзера несколько возрастает, однако при этом увеличится вероятность случаев, когда двигатель, особенно недостаточно прогретый, может остановиться.

Все резисторы должны иметь мощность рассеяния не менее 0,5 Вт. Конденсатор $C1$ — бумажный, на рабочее напряжение около 300 В. В качестве $C6$ желательно использовать К40У-2, а $C7$ — К50-6. Остальные конденсаторы — керамические. В качестве реле $K1$ — РЭС-10, паспорт РС4.254.303.

Для налаживания электронного блока нужны генератор прямоугольных импульсов и осциллограф. Генератор должен иметь выходной сигнал положительной полярности амплитудой 10–15 В, причем период повторения импульсов нужно установить не менее 20 мс (частота следования — не более 50 Гц). Контакты микропереключателя $SF1$ должны находиться в положении, противоположном показанному на схеме. Вывод 1 триггера $DD2.1$ отключают и соединяют его с выходом генератора. Для измерения длительности паузы τ выход $DD1.3$ (вывод 8) соединяют с входом Y осциллографа и подбирают $R6$ до получения длительности паузы 20 мс.

Перед проверкой работы блока управления на автомобиле для визуального контроля параллельно обмотке клапана подключается светодиод. Запускают и прогревают двигатель, затем устанавливают частоту вращения вала, соответствующую холостому ходу. Потом останавливают двигатель и регулируют работу датчика закрытия дросселя карбюратора. Снова запускают двигатель и, приоткрывая дроссель, устанавливают частоту вращения вала более 1500 об/мин. При последующем резком закрывании дросселя светодиод должен на некоторое время погаснуть, а затем вновь загореться. Чем выше частота вращения, до которой предварительно разгоняется вал двигателя, тем дольше должно быть время погасания светодиода.

В связи с разбросом параметров стабилитронов $VD3$, $VD4$ может понадобиться регулировка формирователя импульсов. Если после разгона двигателя до частоты вращения вала, близкой к максимальной (около 6000 об/мин), и последующего закрытия дросселя лампа гаснет не сразу, а с некоторым запаздыванием, следует несколько уменьшить номинал резистора $R3$.

Затем необходимо проверить герметичность клапана на карбюраторе. При работе двигателя на номинальной частоте вращения нужно отключить обмотку клапана, это должно вызвать быструю остановку двигателя. Если

двигатель останавливается не сразу — значит, клапан не герметичен и не может обеспечить нормальную работу экономайзера.

Далее проверяют работу блока управления при движении автомобиля. Светодиод должен кратковременно гаснуть при всех переключениях передач и на длительное время — в режимах торможения двигателем. В связи с тем, что прерыватель системы зажигания передает информацию о частоте вращения вала двигателя с некоторым искажением, полезно проконтролировать порог возобновления подачи топлива в движении. Для этого следует разогнать автомобиль до скорости около 50 км/ч, а затем на прямой передаче, отпустив педаль управления дросселем (при этом светодиод должен погаснуть), определить показания спидометра в момент, когда светодиод снова загорится. При нормальной работе блока это должно произойти при скорости автомобиля около 35 км/ч. Если скорость, при которой загорится светодиод, выше указанной, то следует подобрать резистор R_6 больше номинала. После проведения указанных операций налаживание блока можно считать законченным.

Необходимо отметить, что использование в блоке интегральных микросхем высокопороговой логики (серии К511) позволило достичь его высокой помехоустойчивости, что при установке на автомобиль особенно важно в связи со значительным уровнем помех от системы зажигания и других потребителей, подключенных к бортовой сети. Для питания микросхем использовано пониженное напряжение по сравнению с рекомендуемым (около 11 В вместо 1,5), однако практика показывает, что это не оказывается отрицательно на работе блока управления.

Как видно из вышеприведенных примеров управления экономайзером на ПХХ, электронный блок используется в сочетании с датчиком закрытого положения дроссельной заслонки (см. систему «Каскад»). Однако есть разработки, в которых датчик закрытия дросселя отсутствует. Один из таких вариантов блока управления — см. ниже.

Электронные блоки управления на микросхемах серии К140

1. Без датчика положения дроссельной заслонки.

Входная часть (рис. 3.11) на транзисторах VT_1 , VT_2 в точности повторяет стандартную схему жигулевского тахометра, разница лишь в том, что на выходе этой схемы стоит не стрелочный прибор, а эмиттерный повторитель VT_3 , который подает сигнал на интегрирующую цепочку R_{10} , C_7 .

Напряжение на C_7 растет пропорционально числу оборотов двигателя, попадая на вход микросхемы, работающей в ключевом режиме. Когда напряжения на ее входе недостаточно, на выходе напряжение практически отсутствует. Как только обороты двигателя и, следовательно, напряжение на выходе микросхемы достигнут требуемой величины, напряжение на выходе микросхемы скачком возрастает. Фазовращатель VT_4 меняет порядок на обратный: напряжение на его коллекторе есть, пока обороты малы, и исчезает, когда они достигают требуемой величины. Это напряжение через усилитель тока VT_5 , VT_6 управляет работой клапана ХХ.

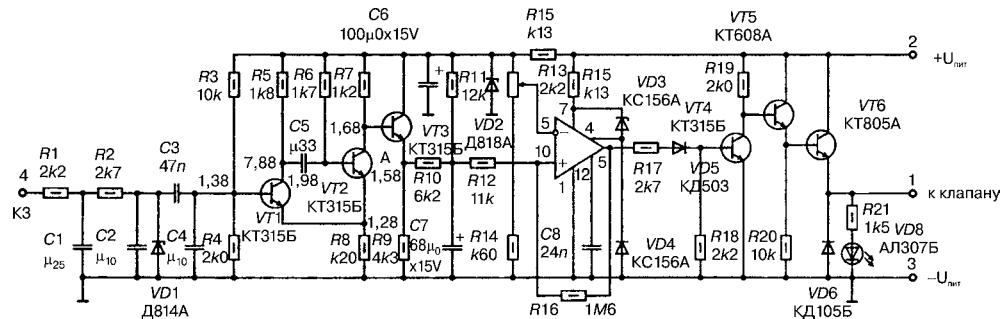


Рис. 3.11
Принципиальная схема электронного блока управления

Налаживать устройство удобнее при помощи генератора низкой частоты и осциллографа. На выход схемы подключают в качестве индикатора светодиод. Когда питание к схеме подключено и на входе нет сигнала, светодиод должен гореть. Ориентировочные напряжения в основных точках схемы в отсутствие сигнала указаны на рис. 3.11. Для проверки работы входной цепи на вход подают от генератора переменное напряжение амплитудой в несколько вольт. Частота генератора должна изменяться примерно от 30 до 100 Гц, что соответствует диапазону оборотов двигателя от 900 до 3000 в минуту. В точку А подсоединяют осциллограф, на его экране должна появиться последовательность П-образных импульсов примерно 10 мс и с частотой, равной частоте сигналов на входе. При понижении частоты импульсы раздвигаются, при повышении — сближаются. Соответственно напряжение на конденсаторе С7 (точка Б) уменьшается или увеличивается. Момент переключения клапана зависит от напряжения на инвертирующем входе микросхемы, т. е. от положения движка переменного резистора R13. Установив в генераторе частоту 60 Гц, что составляет 1800 об/мин, подбирают положение движка, соответствующее моменту загорания лампочки. При выбранном положении резистора изменяют частоту генератора в ту или иную сторону от частоты 60 Гц. Может оказаться, что светодиод гаснет при одной частоте, а загорается при другой, на 20–30 Гц меньше — из-за того, что недостаточен коэффициент усиления микросхемы. Если имеются условия, можно попытаться подобрать другую схему. Но на работу устройства это явление существенно не влияет.

Схема размещается в моторном отсеке и может сильно нагреваться, в результате чего момент переключения немного сдвигается (обычно в сторону понижения числа оборотов). Терморезистор должен скомпенсировать этот сдвиг. Но можно поставить обычный резистор и обойтись без компенсации, просто установив момент переключения при несколько более высоких оборотах. Вообще окончательный подбор момента переключения клапана надо делать непосредственно на автомобиле. Светодиод при этом лучше оставить подключенным параллельно клапану и вывести его в салон. Тогда можно одновременно следить по тахометру за оборотами двигателя и по светодиоду за работой клапана. При оборотах более 1800 об/мин клапан всегда закрыт

(светодиод не горит), меньше — открыт (светодиод горит). Таким образом, особенность этого блока управления заключается в том, что выключение электромагнитного клапана холостого хода не связано с положением дросселя и зависит только от оборотов коленчатого вала. Надо сказать, что нагрузка на клапан в такой системе много больше расчетной. Через некоторое время может возникнуть затирание иглы клапана в канале жиклера, которое следует устраниТЬ: сжав пружину, намотать на направляющий стержень несколько витков медной проволоки и пропаять их.

Порог срабатывания, на 600 об/мин превышающий момент включения электронного блока в системе «Каскад» автомобиля ВАЗ-2105, выбран не случайно: во время работы двигателя под нагрузкой при повышении оборотов системы ХХ долго принимает заметное участие в приготовлении рабочей смеси. Преждевременное отключение системы ХХ вынудило бы обогащать главную дозирующую систему с тем, чтобы избежать «провалов» при разгоне, а это — прямой проигрыш в расходе топлива. Но повышение порога срабатывания клапана, в свою очередь, ведет к снижению экономии от ЭПХХ.

Увеличение порога срабатывания с 1200 до 1800 об/мин с одновременным отказом от датчика положения дросселя в среднем более чем на 35% уменьшает экономию, которую может дать применение ЭПХХ. Кроме того, даже при 1800 об/мин момент отключения системы холостого хода сопровождается легкими рывками. Дальнейшее повышение этого порога делает ЭПХХ малоэффективным. Таким образом, упрощение схемы путем отказа от датчика положения дросселя следует считать нецелесообразным.

2. С датчиком положения дроссельной заслонки.

Такая система описана выше, однако ее практическое использование затруднено в связи с существенными недостатками, а именно:

- отсутствие устройства временной задержки, без которого двигатель глохнет при переходе на нейтральную передачу после движения со скоростью, соответствующей частоте вращения коленчатого вала больше 1500–1600 об/мин (когда электромагнитный клапан обесточен);
- в электронном блоке отсутствует петля гистерезиса: включение и отключение электромагнитного реле происходит при одной и той же частоте, что вызывает автоколебания частоты вращения вала двигателя вблизи частоты переключения;
- отсутствие элементов с плавной регулировкой и вытекающая отсюда трудность настройки;
- наличие электромагнитного реле, являющегося малонадежным элементом.

Приведенная ниже система свободна от указанных недостатков. Принцип ее работы рассмотрим по структурной схеме (рис. 3.12).

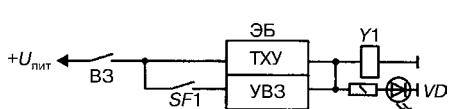


Рис. 3.12
Функциональная схема системы ЭПХХ:

B3 — выключатель зажигания; SF1 — микропрееключатель; ЭБ — электронный блок, состоящий из тахометрического устройства и устройства временной задержки; Y1 — электромагнитный клапан карбюратора; VD — светодиод.

Тахометрическое устройство (ТХУ) имеет частотную характеристику, показанную на рис. 3.13.

После включения питания ВЗ на выходе ТХУ сразу же появляется полное напряжение питания 12 В ($U_{\text{вых}}$) и остается после пуска двигателя до тех пор, пока частота вращения коленчатого вала (n) не достигнет 1600 об/мин; затем напряжение на выходе ТХУ исчезает и при дальнейшем увеличении частоты больше не появляется. При уменьшении частоты вращения вала двигателя напряжение на выходе ТХУ появляется при частоте 1200 об/мин. Гистерезис ($\Delta n = 400$ Гц) характеристики тахометрического устройства предотвращает автоколебания частоты вращения вала двигателя на режимах работы вблизи частоты переключения.

Напряжение с выхода ТХУ поступает на электромагнитный клапан карбюратора $Y1$ и на него же — с выхода устройства временной задержки (УВЗ), временные диаграммы работы которого представлены на рис. 3.14.

При подаче напряжения $U_{\text{вх}}$ на вход УВЗ (от микропереключателя $SF1$) такое же напряжение ($U_{\text{вых}}$) сразу появляется на его выходе (t_1). При снятии напряжения с выхода УВЗ (t_2), напряжение на его выходе исчезает не сразу, а лишь через некоторое время Δt в момент t_3 . Задержка Δt предотвращает остановку двигателя в случае перехода на нейтральную передачу после движения со скоростью, соответствующей частотам вращения вала двигателя больше 1600 об/мин. При этом происходит следующее. Двигатель начинает работать на холостом ходу. Рычаг карбюратора нажимает на кнопку микровыключателя, и его контакты размыкаются, электромагнитный клапан карбюратора обесточивается. Частота вращения вала двигателя резко падает, и канал холостого хода карбюратора не успевает заполниться топливной смесью за время убывания частоты от 1600 об/мин, когда электромагнитный клапан вновь включается, до частоты минимально устойчивых оборотов холостого хода (примерно 500 об/мин). Двигатель заглох бы, если бы не указанная задержка Δt , устраняющая этот недостаток.

Когда педаль акселератора нажата, контакты $SF1$ замкнуты, а на клапан от УВЗ поступает напряжение питания. Кроме того, напряжение на клапан может поступать и от ТХУ, если частота вращения вала двигателя $n < 1600$ об/мин.

При $n > 1600$ об/мин напряжение на клапан поступает только от УВЗ. Иначе говоря, напряжение на клапан $Y1$ может поступать или одновременно от УВЗ и ТХУ, или от одного из них. Однако если частота вращения вала

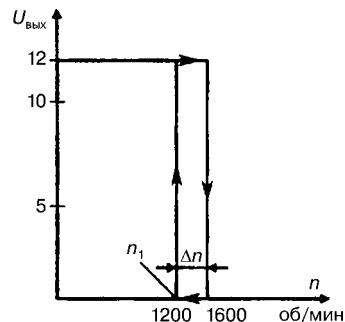


Рис. 3.13
Частотная характеристика ТХУ

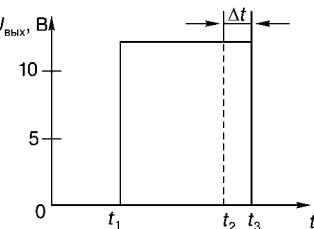
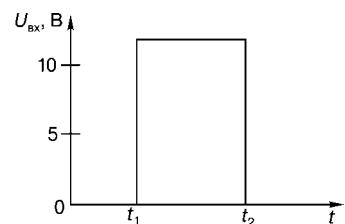


Рис. 3.14
Временные диаграммы работы УВЗ

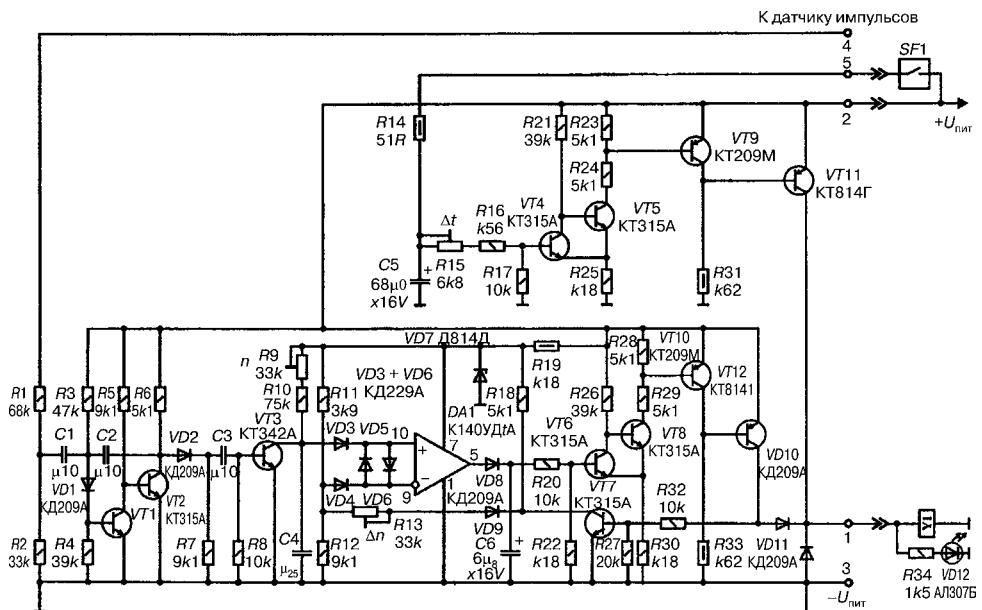


Рис. 3.15
Принципиальная схема электронного блока управления

двигателя $n > 1600$ об/мин (или $n > 1200$ об/мин при уменьшении частоты вращения вала) и дроссельная заслонка закрыта, что соответствует режиму принудительного холостого хода, напряжение на клапан вообще не поступает.

Принципиальная электрическая схема электронного блока системы ЭПХХ с цепями подключения на автомобиле приведена на рис. 3.15; электронный блок, как было указано выше, включает устройства тахометрическое и временной задержки.

Тахометрическое устройство собрано на транзисторах VT_1 , VT_2 , VT_3 , VT_6 , VT_7 , VT_8 , VT_{10} , VT_{12} и микросхеме DA_1 . Оно состоит из заторможенного мультивибратора на VT_1 , VT_2 , электронного ключа на VT_3 , компаратора на DA_1 , триггера Шмитта на VT_6 , VT_8 , электронных ключей на VT_7 , VT_{10} , VT_{12} .

Временные диаграммы работы тахометрического устройства приведены на рис. 3.16.

ТХУ работает следующим образом. После включения питания мультивибратор устанавливается в исходное устойчивое состояние. VT_1 открыт током в его базу через резистор R_3 и диод VD_1 , а VT_2 заперт. Конденсатор C_2 заряжен почти до полного напряжения питания через R_6 , VD_1 и переход «база — эмиттер» VT_1 . Плюс напряжения при этом находится на правой по схеме обкладке конденсатора. VT_3 заперт, а C_4 заряжен через R_9 , R_{10} до напряжения стабилизации стабилитрона $VD_7(t_1)$. Положительное напряжение с C_4 через VD_3 поступает на неинвертирующий вход 10 микросхемы DA_1 , на инвертирующий вход 9 которой подается опорное напряжение $U_{\text{оп}}$ с делителя, состоящего из резисторов R_{11} , R_{12} , причем меньшее по величине на-

пряжение — на $C4$. В результате на выходе 5 микросхемы в исходном состоянии (при неработающем двигателе) имеется положительное постоянное напряжение, которое через $VD8$ и $R20$ поступает на вход триггера Шмитта, переключая его во второе неустойчивое состояние. Транзистор $VT6$ открывается, а $VT8$ закрывается. Следовательно, закрывается и $VT10$, а $VT12$, $VT17$ открываются, первый — током в его базу через $R33$, а второй — коллекторным током $VT12$ через $R32$. Напряжение питания поступает к электромагнитному клапану и светодиоду.

Вход электронного блока 4 с помощью пружинного зажима «крокодил» подключен к изоляции центрального высоковольтного провода распределителя. Импульсы высокого напряжения (импульсы зажигания), возникающие в момент искрообразования (t_2), проходят через емкость между высоковольтным проводом и зажимом «крокодила» (вывод 4), ослабляются делителем напряжения на $R1$, $R2$ и через $C1$ поступают на вход мультивибратора.

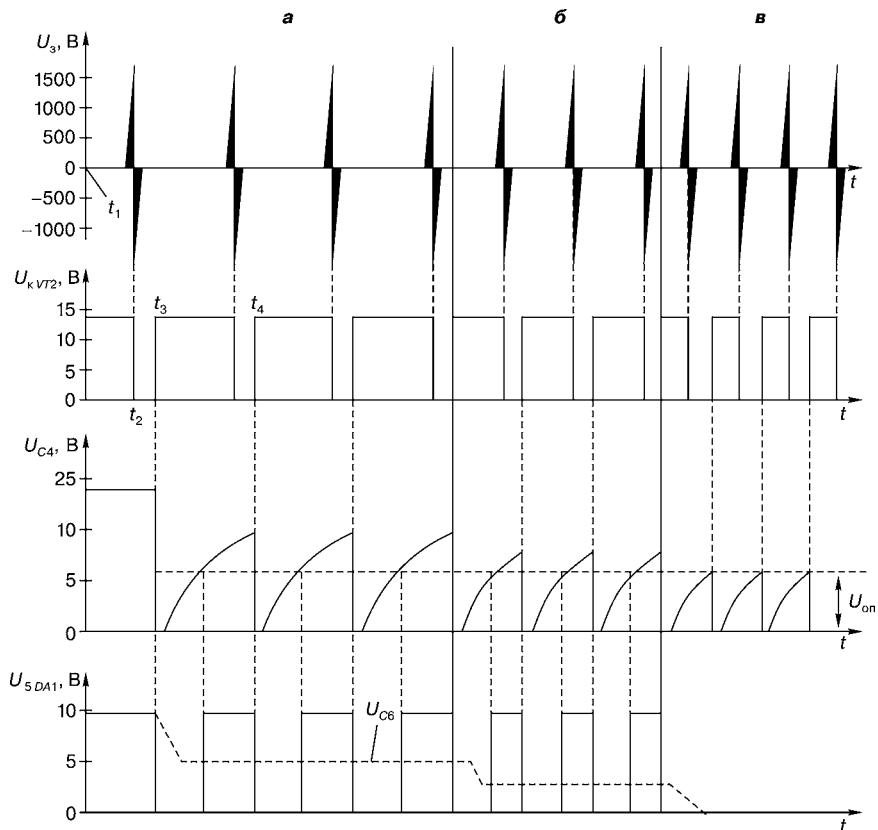


Рис. 3.16
Временные диаграммы работы ТХУ:

а — при низких; *б* — при средних; *в* — при высоких оборотах коленчатого вала двигателя; U_3 — импульс зажигания; $U_{k VT2}$ — напряжение на коллекторе транзистора $VT2$; U_{C4} — напряжение на конденсаторе $C4$; $U_{5 DA1}$ — напряжение на выводе 5 микросхемы $DA1$; U_{C6} — напряжение на конденсаторе $C6$; U_{on} — опорное напряжение на выводе 9 микросхемы $DA1$.

Отрицательная полуволна импульса зажигания закрывает $VD1$, вследствие чего $VT1$ закрывается, $VT2$ открывается током в его базу через $R5$. Мультивибратор переключается во второе неустойчивое состояние. Заряженный $C2$ через переход «коллектор — эмиттер» открытого транзистора $VT2$ и резистор $R4$ подключается к диоду $VD1$ в запирающей полярности, тем самым удерживая мультивибратор в указанном неустойчивом состоянии после окончания действия импульса зажигания. $C2$ начинает перезаряжаться через $R3$ и переход «коллектор — эмиттер» $VT2$. Через некоторое время, значение которого определяется постоянной времени цепи $R3, C2$, напряжение на левой по схеме обкладке $C2$ становится положительным; $VD1$ и $VT1$ отпираются, а $VT2$ закрывается. Мультивибратор возвращается в исходное устойчивое состояние (t_3).

Таким образом, во время работы двигателя на выходе мультивибратора (на коллекторе $VT2$) появляется последовательность прямоугольных положительных импульсов, длительность которых обратно пропорциональна частоте искрообразования, а промежутки между импульсами имеют фиксированную длительность (примерно 0,5 мс), определенную постоянной времени цепи $R3, C2$.

Положительные импульсы с выхода мультивибратора поступают через $VD2$ и $C3$ на базу $VT3$, открывая его на время зарядки $C3$ через $R6$ (примерно на 0,05 мс). В результате $C4$ в течение нескольких микросекунд заряжается через переход «коллектор — эмиттер» $VT3$ (t_3, t_4). После закрывания этого транзистора $C4$ снова заряжается через резисторы $R9, R10$, причем напряжение, до которого он зарядится (t_4), зависит от длительности положительного импульса на коллекторе $VT2$ или, что то же самое, от частоты вращения коленчатого вала двигателя. Чем выше частота, тем короче импульс и тем до меньшего напряжения зарядится $C4$.

При низких частотах вращения коленчатого вала двигателя $C4$ успевает зарядиться до напряжения, превышающего опорное, в результате на выходе 5 микросхемы $DA1$ появляется последовательность положительных импульсов. Эти импульсы выпрямляются ($VD8$ и $C6$) и через $R20$ поступают на вход триггера Шмитта, удерживая его во втором неустойчивом состоянии. $VT7, VT12$ остаются открытыми, напряжение питания продолжает поступать к электромагнитному клапану и светодиоду.

С увеличением частоты вращения вала двигателя длительность положительных импульсов на $VT2$ уменьшается, следовательно, уменьшается и время зарядки $C4$. Теперь он успевает зарядиться до меньшего напряжения. Длительность импульсов на выходе 5 $DA1$ уменьшается, уменьшается и положительное напряжение, поступающее от $VD8, C6$ на вход триггера Шмитта. Однако триггер до определенного уровня входного напряжения остается во втором устойчивом состоянии, а электромагнитный клапан и светодиод не обесточиваются.

При дальнейшем увеличении частоты наступает момент, когда напряжение на $C4$ не успевает достичь опорного напряжения, и положительное напряжение на входе триггера Шмитта исчезает. Триггер переключается в основное устойчивое состояние. $VT6$ закрывается, а $VT8$ открывается током в его базу через $R26$. $VT10$ открывается коллекторным током $VT8$ в его базу

через $R29$, а $VT12$ и $VT7$ закрываются. Электромагнитный клапан и светодиод обесточиваются.

Точность работы тахометрического устройства обеспечивается тем, что зарядка $C4$ и питание делителя опорного напряжения $R11$, $R12$ производятся от одного и того же (и притом стабилизированного) источника питания — стабилитрона $VD7$, а также соответствующим выбором типа $C4$.

Цепь, состоящая из $VT7$, $VD9$ и $R13$, $R18$, служит для получения заданной глубины гистерезиса характеристики тахометрического устройства. Когда электромагнитный клапан и светодиоды обесточены, $VT7$ закрыт, $VD9$ тоже закрыт и эта цепь не оказывает влияния на работу тахометрического устройства. Когда при уменьшении частоты $VT7$ открывается, $R13$ через $VD9$ и переход «коллектор — эмиттер» $VT7$ подключается параллельно $R12$, вследствие чего величина опорного напряжения на входе 9 микросхемы $DA1$ уменьшается и переключение схемы (подача питания на электромагнитный клапан и светодиод) происходит теперь уже при большей частоте. С помощью переменного резистора $R9$ выставляется частота n включения электромагнитного клапана и светодиода при уменьшении частоты вращения вала двигателя, а с помощью $R13$ — величина гистерезиса Δn .

Диоды $VD5$, $VD6$ ограничивают напряжение между входами микросхемы $DA1$ на допустимом уровне.

Устройство временной задержки состоит из времязадающей цепи $C5$, $R15$, $R16$, триггера Шмитта на $VT4$, $VT5$ и электронного канала на $VT9$, $VT11$, причем триггер Шмитта и электромагнитный ключ такие же, как и в тахометрическом устройстве. УВЗ работает следующим образом. Допустим, что контакты микровыключателя разомкнуты. Тогда после включения питания триггер Шмитта устанавливается в основное устойчивое состояние, $VT4$ закрыт, а $VT5$ открыт. Следовательно, открыт также $VT9$, а $VT11$ закрыт. Напряжение к электромагнитному клапану и светодиоду от устройства временной задержки не поступает. После замыкания контактов $SF1$ (t_1) $C5$ быстро заряжается через низкоомный $R14$ и $VT4$ триггера открывается током базы через $R14$ — $R16$. Триггер переключается во второе неустойчивое состояние. $VT5$, $VT9$ закрываются, а $VT23$ открывается. Таким образом, напряжение на электромагнитный клапан и светодиод поступает сразу же после замыкания контактов $SF1$. При размыкании же контактов $SF1$ (t_2) триггер переключается в основное устойчивое состояние не сразу. $C5$ в течение некоторого времени разряжается через $R15$, $R16$ и переход «база — эмиттер» $VT4$, удерживая его в течение некоторого времени в открытом состоянии. Следовательно, момент открывания $VT5$, $VT9$ и запирания $VT11$ задерживается и происходит примерно через $0,5$ с после замыкания контактов микровыключателя $SF1$ (t_3). Задержку можно регулировать с помощью переменного резистора $R15$. Наличие триггеров Шмитта в тахометрическом устройстве и устройстве временной задержки позволяет повысить достоверность контроля за работой системы. Благодаря им напряжение на электромагнитный клапан и светодиод поступает скачком и загорание светодиода однозначно показывает, что электромагнитный клапан сработал (если он, конечно, исправен). Отпускание клапана происходит в момент погасания светодиода.

VD11 устраняет выбросы напряжения, возникающие в обмотке электромагнитного клапана при разрыве тока, тем самым предохраняя *VT11* и *VT12* от пробоя.

Налаживание правильно собранного из исправных деталей прибора сводится лишь к установке соответствующих значений частоты включения электромагнитного клапана n , гистерезиса характеристики тахометрического устройства Δn и величины временной задержки Δt .

Проверка и регулировка рассматриваемой системы производится при прогретом двигателе с полностью открытой воздушной заслонкой карбюратора.

Одновременно с включением зажигания должен загореться светодиод и продолжать гореть после пуска двигателя и при его работе на холостом ходу ($n = 700\text{--}1000$ об/мин) при отпущеной педали акселератора. Затем, нажимая на педаль акселератора, устанавливают частоту вращения вала двигателя $2000\text{--}2500$ об/мин и резко отпускают педаль. Светодиод не должен гаснуть и двигатель не должен глохнуть. После этого с помощью переменного резистора *R15* уменьшают величину временной задержки Δt до тех пор, пока светодиод при резком отпускании педали акселератора не будет кратковременно гаснуть. При этом двигатель может глохнуть или работать некоторое время неустойчиво. С точки зрения экономии горючего величина временной задержки должна быть минимальной, однако такой, чтобы двигатель при резком отпускании педали акселератора не глох.

Далее проверяют работу системы при движении автомобиля. Разгоняют автомобиль на прямой передаче до скорости, соответствующей $2500\text{--}3000$ об/мин вала двигателя; светодиод должен при этом гореть. Затем отпускают педаль акселератора и, наблюдая за показаниями тахометра, двигаются по инерции с включенной передачей и сцеплением. Через $0,3\text{--}0,5$ с после отпускания педали акселератора светодиод должен погаснуть и зажечься лишь при снижении частоты примерно до 1200 об/мин.

Экономия топлива, получаемая при установке описываемой системы, во многом зависит от стиля езды водителя, от того, насколько полно используется режим принудительного холостого хода. Наличие светодиода на панели (когда двигатель не потребляет топлива, светодиод не горит) позволяет водителю максимально использовать этот режим.

Электронный блок управления на микросхеме серии К553

Электронный блок (рис. 3.17) состоит из формирователя импульсов, преобразователя частоты в напряжение, сравнивающего устройства и электронного ключа, управляющего клапаном.

Формирователь собран на *VT1*–*VT3*. Его запускают импульсы с емкостного датчика, установленного на высоковольтном проводе катушки зажигания. Входная цепь *R1*, *R2* вместе с емкостным сопротивлением датчика представляют собой делитель импульсного напряжения. Формирователь выдает прямоугольные импульсы постоянной длительности и амплитуды с частотой, пропорциональной частоте вращения коленчатого вала двигателя. Дли-

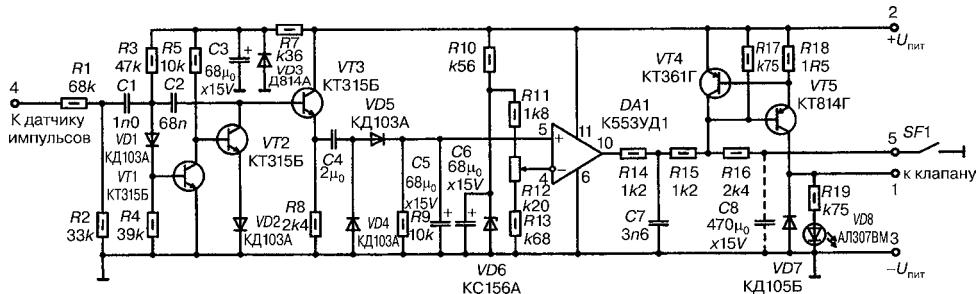


Рис. 3.17
Принципиальная схема электронного блока управления

Таблица 3.3

Зависимость напряжения на нагрузочном резисторе

Частота высоковольтных импульсов, Гц	33,3	50	66,6	100	133,3	166,6	266,6
Частота вращения КВ двигателя, об/мин	1000	1500	2000	3000	4000	5000	8000
Постоянное напряжение преобразования, В	1,3	1,7	2,1	2,7	3,1	3,4	5,5

тельность импульсов выбрана примерно равной 1,8 мс из условия, чтобы на самой большой частоте вращения вала (8000 об/мин) скважность импульсов была не менее 2. Длительность можно изменить подборкой С2. Потом эти импульсы поступают в преобразователь, выполненный на VD4, VD5, R9 и С5. Зависимость напряжения на нагрузочном резисторе R9 от частоты следования импульсов и частоты вращения коленчатого вала (КВ) показана в табл. 3.3.

Преобразователь характеризуется сравнительно малой инерционностью (напряжение устанавливается за 0,1 с при резком изменении частоты с 166,6 до 33,3 Гц) и малыми пульсациями выходного напряжения (не более 20 мВ на частоте 50 Гц, т. е. не более 1,2%).

Сравнивающее устройство представляет собой компаратор на ОУ DA1, на один вход которого подано напряжение преобразователя, а на другой — образцовое. Источником образцового напряжения служит параметрический стабилизатор VD6, R10, С6 и делитель, состоящий из резисторов R11–R13. Выходной сигнал компаратора управляет работой электронного ключа, собранного на VT5 и VD7.

Электронный ключ предназначен для коммутации напряжения питания обмотки электромагнитного клапана, установленного в карбюраторе. Если выходное напряжение преобразователя ниже образцового, т. е. при частоте вращения коленчатого вала ниже определенного значения (например, 1500 об/мин), на выходе компаратора сигнал будет отсутствовать, открыты электронный ключ и электромагнитный клапан на карбюраторе. При этом состояние ключа не зависит от того, нажата или отпущена педаль привода дроссельной заслонки. При напряжении выше образцового, что соответствует большой частоте вращения коленчатого вала двигателя, электронный ключ

и клапан закроются, но при условии, что педаль акселератора будет отпущена. При нажатой педали контакты *SF1* замкнуты, а электронный ключ и клапан будут открыты независимо от сигнала компаратора.

Ключ снабжен системой защиты от замыкания в сети обмотки *Y1* клапана. Система состоит из резистора *R18* и транзистора *VT4*. Сопротивление *R18* определяет ток срабатывания системы. При указанных на схеме типономиналах он равен 0,3–0,5 А. После срабатывания системы ключевой транзистор *VT5* рассеивает мощность около 7 Вт, поэтому его следует установить на теплоотвод.

Светодиод *VD8*, монтируемый на приборном щитке автомобиля, индицирует открытое состояние клапана.

Конструкция электронного блока не имеет каких-либо особенностей, кроме тех, которые определены условиями его эксплуатации (широкие температурные пределы, воздействие брызг топлива и масла, пыли, вибраций и ударов и т. п.).

Датчик импульсов может быть выполнен в виде зажима «крокодил» или бандажа из 4–8 витков монтажного провода, установленного на высоковольтном проводе вблизи катушки зажигания.

В экономайзере использованы постоянные резисторы МЛТ, подстроечный резистор СП5-2, оксидные конденсаторы К53-4 (или К50-16). Остальные конденсаторы КСО, К31-11, К73-9, К73-17. Вместо К553УД1А можно взять ОУ К553УД1В, К153УД1.

Для налаживания электронного блока необходимы генератор коротких прямоугольных импульсов, например Г5-26, любой низкочастотный осциллограф и вольтметр постоянного тока с большим входным сопротивлением, например В7-26. Настройку начинают с проверки работы электронного ключа. Вместо обмотки электромагнитного клапана можно включить ее эквивалент—резистор сопротивлением 120–130 Ом, мощностью не менее 2 Вт. *R14* отключают от выхода микросхемы, а *R16* — от переключателя *SF1*. Ключ должен закрыться и напряжение на коллекторе *VT5* должно отсутствовать при замыкании на общий провод свободного вывода из *R14* или *R16*, на коллекторе *VT5* должно появиться напряжение, практически равное напряжению источника питания. Затем присоединяют амперметр со шкалой 1 А параллельно обмотке электромагнитного клапана. Ток короткого замыкания при открытом ключе должен быть в пределах нормы от 0,3 до 0,5 А. Припаивают на свое место вывод *R14*, а выход генератора импульсов подключают к верхнему по схеме выводу *R1*. Устанавливают выходное напряжение положительных импульсов генератора не менее 15 В, длительность — не более 0,5 мс, частоту следования — 266,6 Гц. Наблюдают на экране осциллографа импульсы на эмиттере *VT3*, форма которых должна быть прямоугольной, а длительность — около 1,8 мс. Снимают зависимость постоянного напряжения на *R9* от частоты в пределах от 33,3 до 166,6 Гц. Она должна быть близкой к указанной в табл. 3.3.

Устанавливают частоту генератора 50 Гц и медленно врашают ручку подстроечного резистора *R12* до срабатывания электронного ключа. Этот порог срабатывания будет соответствовать частоте вращения коленчатого вала дви-

гателя — 1500 об/мин. С целью повышения топливной экономичности ее можно снизить до 1200 об/мин — 1940 Гц. Неточность по (частоте) порога срабатывания не превышает 60 об/мин при самых неблагоприятных условиях эксплуатации.

Динамически экономайзер почти безынерционен, т. е. при резком закрывании дросселя на большой частоте вращения вала двигателя клапан закрывается моментально, однако двигатель продолжает еще работать 3–4 с на оставшемся в карбюраторе топливе. Этого времени достаточно, чтобы водитель, если нужно, успел переключить передачу. Если требуется увеличить время, следует сделать задержку срабатывания электронного ключа экономайзера, включив конденсатор емкостью 100–500 мкФ параллельно контакту переключателя SF1 (на схеме показано штриховой линией).

Эксплуатация экономайзера на автомобиле показала высокую надежность и стабильность работы. Простота конструкции и отсутствие дефицитных деталей делают доступным изготовление экономайзера силами радиолюбителей.

Электронные блоки управления на микросхеме серии К548

1. Электронный блок (рис. 3.18) состоит из ограничителя импульсов, преобразователя частоты в напряжение, сравнивающего устройства (компаратора напряжения) и усилителя тока, нагруженного обмоткой электромагнитного клапана.

Входная цепь, состоящая из резисторов $R1$, $R2$ и емкостного датчика импульсов, выполненного в виде бандажа из 4–8 витков монтажного провода на высоковольтном проводе вблизи катушки зажигания, представляет собой делитель импульсного напряжения. Более удобен съемный датчик, представляющий собой зажим «крокодил», прицепляемый на высоковольтный провод. Под зажим следует поместить на провод виток из тонкой жести шириной 15–20 мм.

Диоды $VD1$ – $VD3$ ограничивают амплитуду входных импульсов, преобразовывая их в прямоугольные, и одновременно защищают вход микросхемы от высокого напряжения. Усилитель $DA1.1$ включен по схеме одновибратора и выполняет преобразование «частота — напряжение» с обратной

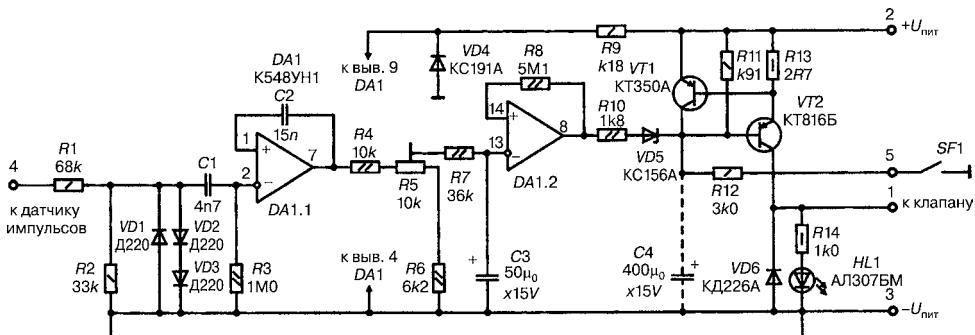


Рис. 3.18
Принципиальная схема электронного блока управления (вариант 1)

зависимостью. Второй усилитель *DA1.2* работает компаратором напряжения. Он сравнивает выходной сигнал одновибратора, снимаемый с делителя напряжения *R4–R6*, с обратным напряжением источника, входящего в состав микросхемы. Конденсатор *C3* сглаживает пульсации сигнала с выхода одновибратора.

R8 образует цепь положительной ОС, необходимой для образования гистерезиса компаратора, который обеспечивает четкое включение и отключение электромагнита клапана при различных значениях частоты вращения коленчатого вала двигателя, не допуская «дребезга» клапана в моменты переключения.

Выходной сигнал компаратора управляет работой усилителя тока на *VT2*. *R10* и стабилитрон *VD5* служат для согласования по напряжению входа усилителя с выходом компаратора. *VT2* работает в режиме переключения. Для его защиты от перегрузки при замыкании в цепи обмотки *Y1* электромагнита предусмотрено устройство, собранное на *VT1*. Сопротивление *R13* определяет ток срабатывания устройства защиты, который должен быть установлен в пределах 0,3–0,4 А. При увеличении тока через *VT2* сверх установленного порога открывается *VT1*, закрывающий *VT2*. В результате аварийный ток замыкания оказывается ограниченным на безопасном уровне.

Светодиод *HL1* индицирует открытое состояние клапана, его целесообразно разместить на приборной панели в кабине автомобиля.

В экономайзере использованы постоянные резисторы МЛТ, подстроечный резистор *R5* СП5-2, оксидные конденсаторы ЭТО-2 (или К52-2, К52-5, К52-7А), остальные (К31-11, К73-9, К73-17) — КСО. Стабилитрон КС191А может быть заменен на Д814Б, КС482А, КС190Б, КС190Д или КС191 с любым буквенным индексом, а КС156А на КС156Г, КС456А, КС168А, КС468А.

R13 (константановый или другой высокоомный провод диаметром 0,35 мм) намотан на МЛТ-2 сопротивлением более 300 Ом. КТ350А можно заменить любым маломощным кремниевым *p–n–p*-транзистором, например из серий КТ361, КТ3107, КТ3108. Вместо АЛ307БМ возможно использовать любой светодиод из этой серии.

Для налаживания электронного блока экономайзера потребуется источник питания напряжением 13–15 В и током нагрузки до 1 А (например, автомобильная аккумуляторная батарея), вольтметр постоянного тока с входным сопротивлением не менее 1 МОм (лучше использовать цифровой, например В7-27, В7-50 и т. п.) и генератор прямоугольных (или синусоидальных) импульсов амплитудой до 20 Гц и выше. Не будет лишним и любой низкочастотный осциллограф.

Вначале проверяют работу усилителя тока. Вместо обмотки электромагнитного клапана *Y1* включают в качестве нагрузки резистор сопротивлением 120–130 Ом, мощностью 2–5 Вт либо лампу накаливания на напряжение 12 В и ток 0,3 А (можно использовать автомобильную лампу А12-5 или А12-4). *R10* отключают от выхода микросхемы *DA1.2*.

После включения питания *VT2* должен быть закрыт, напряжение на его коллекторе при этом отсутствует, светодиод выключен, нагрузка обесточена. При замыкании отключенного конца *R10* на общий провод на коллекто-

ре должно появиться напряжение, практически равное напряжению источника питания. Затем припаивают на свое место вывод $R10$.

При отсутствии входного сигнала на компараторе $VT2$ должен быть закрыт. При появлении входного сигнала напряжением 1,3 В и более (этот уровень определяется внутренним стабилизатором микросхемы) $VT2$ открывается.

При указанных на схеме номиналах $R4-R6$, отключенном датчике импульсов и питающем напряжении 13,2 В (номинальное напряжение аккумуляторной батареи) на выводе 7 микросхемы будет напряжение 7,45 В, а в точке соединения $R4$ и $R5$ — около 4,3 В. Измерения выполнены высокоомным цифровым вольтметром относительно общего провода. Эти значения контрольные и могут свидетельствовать о правильной сборке и работе устройства.

Напряжение на $C3$ в верхнем положении движка $R5$ равно 4,3 В, в нижнем — около 1,5 В.

При подаче импульсного сигнала с амплитудой 3–5 В (прямоугольного или синусоидального) на вход устройства напряжение на $C3$ в зависимости от частоты f (в герцах):

$$U_{ii} = U_0(1 - \tau f),$$

где U_{ii} — входное напряжение компаратора (при отсутствии входных сигналов), устанавливаемого $R5$; τ — постоянная времени цепи зарядки-разрядки $C2$, с.

Постоянная времени:

$$\tau = R_{ii}C2,$$

где R_{ii} — сопротивление цепи зарядки и разрядки $C2$, являющегося параметром микросхемы и равное для К548УН1 $R_{ii} = 430$ кОм; $C2$ — емкость конденсатора, Ф. Для $C2 = 0,015$ мкФ $\tau = 6,45 \cdot 10^{-3}$ с.

Частота импульсов f и частота вращения коленчатого вала двигателя n связаны зависимостью $f = n/30$. Подставив значения τ и f , получим

$$U_0 = \frac{U_{ii}}{1} - 2,15 \cdot 10^{-4} n.$$

Так как порог срабатывания компаратора равен 1,3 В, его входное напряжение при отсутствии входных импульсов:

$$U_0 = \frac{1,3}{1} - 2,15 \cdot 10^{-4} n.$$

Отсюда следует простой способ предварительной регулировки электронного блока при отсутствии входных импульсов. Так, для срабатывания блока на частоте вращения $n = 1500$ об/мин, которую рекомендуют в качестве оптимальной, $U_0 = 1,92$ В.

С целью повышения топливной экономичности можно установить, например, $n = 1200$ об/мин, что соответствует $U_0 = 1,75$ В. Однако при этом следует иметь в виду, что при пониженной частоте переключения блока вождение автомобиля несколько усложнится.

Далее на вход устройства подают переменное напряжение (прямоугольное или синусоидальное) амплитудой 3–5 В и частотой соответственно 50 или 40 Гц. При этом на C_3 должно быть постоянное напряжение около 1,3 В. При понижении частоты f должны переключаться компаратор и открыться $VT2$, о чём будет свидетельствовать появление напряжения на нагрузочном резисторе (лампе) и включение светодиода. При увеличении частоты сверхпорогового значения должно происходить обратное переключение компаратора. Разность значений частоты (гистерезис), при которых происходит включение и отключение, должна быть в пределах 3–5 Гц. Если она окажется больше, следует увеличить сопротивление $R8$, и наоборот. Окончательно правильность регулировки и работу блока проверяют после установки его на автомобиль. Частоту вращения коленчатого вала двигателя, при которой срабатывает устройство, контролируют по тахометру автомобиля и светодиоду $H1.1$.

2. Второй вариант является, по сути, доработкой вышеописанного блока (рис. 3.19).

C_2 заменен другим, емкостью 0,01 мкФ. Дело в том, что одновибратор, собранный на усилителе $DA1.1$, должен обеспечить постоянно уменьшающееся напряжение на C_3 с увеличением частоты срабатывания экономайзера. Но длительность импульса с выхода одновибратора слишком рано становится сравнимой с длительностью периода следования запускающих импульсов, из-за чего происходит ненужный подъём напряжения на частоте вращения около 2500 об/мин почти до уровня срабатывания компаратора, собранного на $DA1.2$. Это приводит к нестабильности в работе блока.

Емкость C_3 уменьшена до 10 мкФ, так при емкости этого конденсатора в исходном блоке в 50 мкФ задержка срабатывания экономайзера была слишком большой — около 5 с. Необходимой фильтрации напряжения управления компаратором легко достигнуть включением конденсатора между выходом $DA1.2$ и его инвертирующим входом (C_6).

Максимально допустимый выходной ток каждого усилителя микросхемы К548УН1 — 3 мА, поэтому для надежного срабатывания электромагнитного клапана выходные транзисторы $VT1$ и $VT2$ включены по схеме составного транзистора. В исходном варианте пришлось бы подбирать $VT2$ со ста-

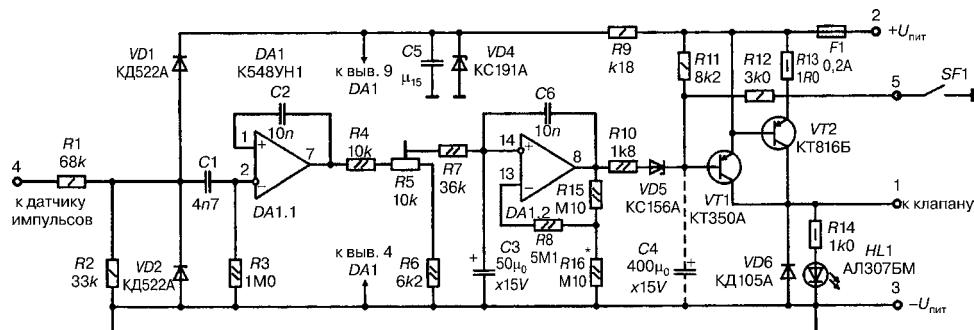


Рис. 3.19
Принципиальная схема электронного блока управления (вариант 2)

тическим коэффициентом передачи тока 100 и более, что для многих радиолюбителей — задача не из легких.

Предложенная в первом варианте система защиты выходного транзистора от перегрузки при случайном замыкании выхода блока на корпус неэффективна, поскольку не исключает порчи транзистора. Во втором использован плавкий предохранитель на 0,5 А, что вполне оправданно, поскольку максимально допустимый ток VT2 более чем в 10 раз превышает ток, при котором перегорает предохранитель, а R13 ограничивает этот ток на допустимом уровне на время перегорания предохранителя.

В компаратор введен делитель напряжения на R15, R16 для того, чтобы обеспечить настройку компаратора на нужную величину гистерезиса подборкой R15. Кстати, при отсутствии делителя в R8 номиналом 15 МОм на испытуемом экземпляре микросхемы K548УН1 гистерезис превысил 10 Гц, что в 5 раз больше ожидаемого.

Электронный блок управления на микросхеме серии K561

Данный блок имеет подавитель импульсных помех на входе, транзисторный ключевой усилитель на выходе и узел входа гистерезиса по частоте (рис. 3.20a).

Основные технические характеристики электронного блока управления экономайзером:

Напряжение питания	10–16 В
Потребляемый ток	20 мА
Коммутируемый ток	0,4 А
Частота входных импульсов:	
выключения клапана	50 Гц
включения клапана	43,3 Гц

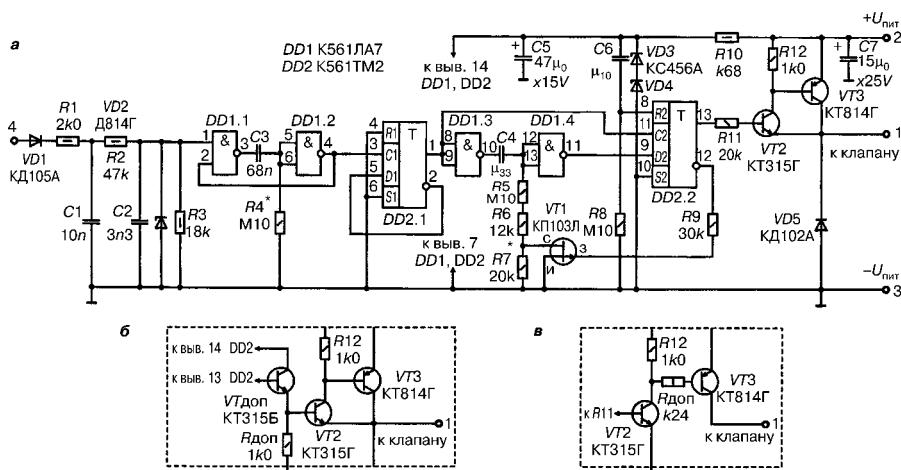


Рис. 3.20

Принципиальная схема электронного блока управления экономайзером

После включения зажигания блок управления устанавливается в исходное положение и включает электромагнитный клапан. При нажатии на педаль акселератора контакты микропереключателя, которые дублируют подачу питания на электромагнит, замыкаются.

С увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя до 1500 об/мин (что соответствует увеличению частоты размыкания контактов прерывателя до 50 Гц) блок срабатывает, отключая напряжение питания от клапана, но он остается включенным через контакты микропереключателя. Если теперь педаль акселератора отпустить (режим торможения двигателя), то контакты микропереключателя разомкнутся — обесточат электромагнитный клапан, и подача топлива к цилиндрам двигателя прекратится.

После уменьшения частоты вращения вала двигателя до 1300 об/мин (частота размыкания прерывателя — 43,3 Гц) блок включит электромагнит клапана, и подача топлива возобновится.

Как следует из сказанного выше, описываемый блок обладает свойством гистерезиса по частоте поступающих с прерывателя импульсов. При его отсутствии электронный блок вблизи порога срабатывания будет воспринимать эту частоту то как повышенную по отношению к пороговой, то как пониженнную. Поэтому вместо четкого однократного срабатывания будет иметь место многократное переключение клапана. Следует заметить, что достичь четкости срабатывания устройства можно, применив метод «зашелки», но тогда схема подключения блока к бортовой сети автомобиля будет отличаться от заводской, следовательно, без переделки электропроводки не обойтись.

Принципиальная схема блока изображена на рис. 3.20а. Импульсы с прерывателя системы зажигания поступают на формирователь прямоугольных импульсов, состоящий из элементов $VD1$, $VD2$, $R1-R3$, $C1$, $C2$. Он обеспечивает защиту блока от перегрузки и от отрицательных импульсов входных импульсов. Далее сигнал поступает на подавитель импульсных помех, собранный по схеме одновибратора на логических элементах $DD1.1$, $DD1.2$. Он реагирует на спад входного импульса и удерживает низкий логический уровень на счетном входе триггера $DD2.1$ в течение 4 мс (см. диаграммы сигналов на рис. 3.21).

Этого времени достаточно для прекращения действия импульсных помех от дребезга контактов прерывателя, искрения при размыкании, колебательных процессов в системе зажигания.

Триггер $DD2.1$, включенный по схеме делителя на 2, формирует на выходе импульсы длительностью, равной периоду входного сигнала $T_{\text{вх}}$, необходимые для работы устройства сравнения, собранного на триггере $DD2.2$. По спаду этих импульсов запускается формирователь на элементах $DD1.3$, $DD1.4$, длительность выходных импульсов которого связана с длительностью входных определенным образом. При увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя от значения, соответствующего холостому ходу, 1500 об/мин и более длительность выходных импульсов формирователя составляет: $\tau_n = 20 \text{ мс}$ при $T_{\text{вх}} \geq 20 \text{ мс}$ (соответствует частоте $\leq 1500 \text{ об/мин}$) и равна $T_{\text{вх}}$ при $T_{\text{вх}} \leq 20 \text{ мс}$ ($\geq 1500 \text{ об/мин}$). Если теперь уменьшить частоту вращения вала до значения $< 1300 \text{ об/мин}$, длительность импульсов будет равна $T_{\text{вх}}$.

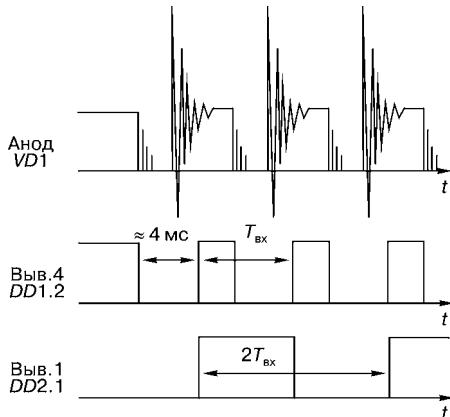


Рис. 3.21
Диаграмма сигналов на элементах схемы

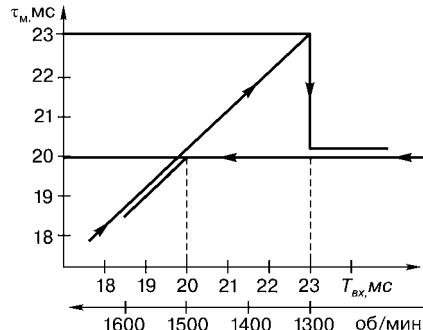


Рис. 3.22
Зависимость длительности выходных импульсов от входных

при $T_{\text{вх}} \leq 23$ мс (≥ 1300 об/мин) и 20 мс при $T_{\text{вх}} > 23$ мс (< 1300 об/мин). Данная зависимость изображена на диаграмме рис. 3.22.

В исходном состоянии на инверсном выходе $DD2.2$ действует низкий логический уровень, $VT1$ открыт и шунтирует $R8$; формирователь импульсов $DD1.3$, $DD1.4$ настроен на длительность выходного импульса 20 мс. На частоте вращения 1500 об/мин достигается равенство длительности импульсов на выходе $DD1.4$ и выходе $DD2.1$ значению 20 мс, но на выходе $DD1.4$ импульсы запаздывают на время задержки в формирователе импульсов. Поэтому в момент прихода фронта импульса на C -вход $DD2.2$ на его D -входе будет еще сигнал 0 (см. рис. 3.23а).

$DD2.2$ переключится, на его инверсном выходе появится сигнал высокого уровня, и $VT1$, закрывшись, перестроит формирователь $DD1.3$, $DD1.4$ на длительность импульсов 23 мс.

При уменьшении частоты вращения вала двигателя до 1300 об/мин наступит момент, когда во время прихода импульса на C -вход $DD2.2$ на его D -входе уже будет уровень 1. Триггер установится в исходное состояние, $VT1$ откроется и формирователь вновь окажется настроенным на 20 мс (рис. 3.23б).

Сигнал с прямого выхода $DD2.2$ управляет ключевым усилителем на $VT2$, $VT3$, нагрузкой которого служит электромагнит клапана экономайзера. Появление сигнала логической 1 на прямом выходе $DD2.2$ вызовет срабатывание клапана, а сигнала 0 — отключение.

Ключевой усилитель имеет особенность, заключающуюся в том, что $R12$ и эмиттер $VT3$ подключены к бортовой сети автомобиля, напряжение в которой обычно изменяется в пределах 12–14,5 В, в то время как триггер питает стабилизированное напряжение 10 В. Нагрузочная способность микросхем КМОП мала, поэтому статический коэффициент передачи тока $VT2$ должен быть не менее 200.

Если дополнить ключевой усилитель эмиттерным повторителем (см. рис. 3.20б), можно применять транзисторы с умеренным значением статического коэффициента передачи тока базы. КТ315Б в устройстве можно

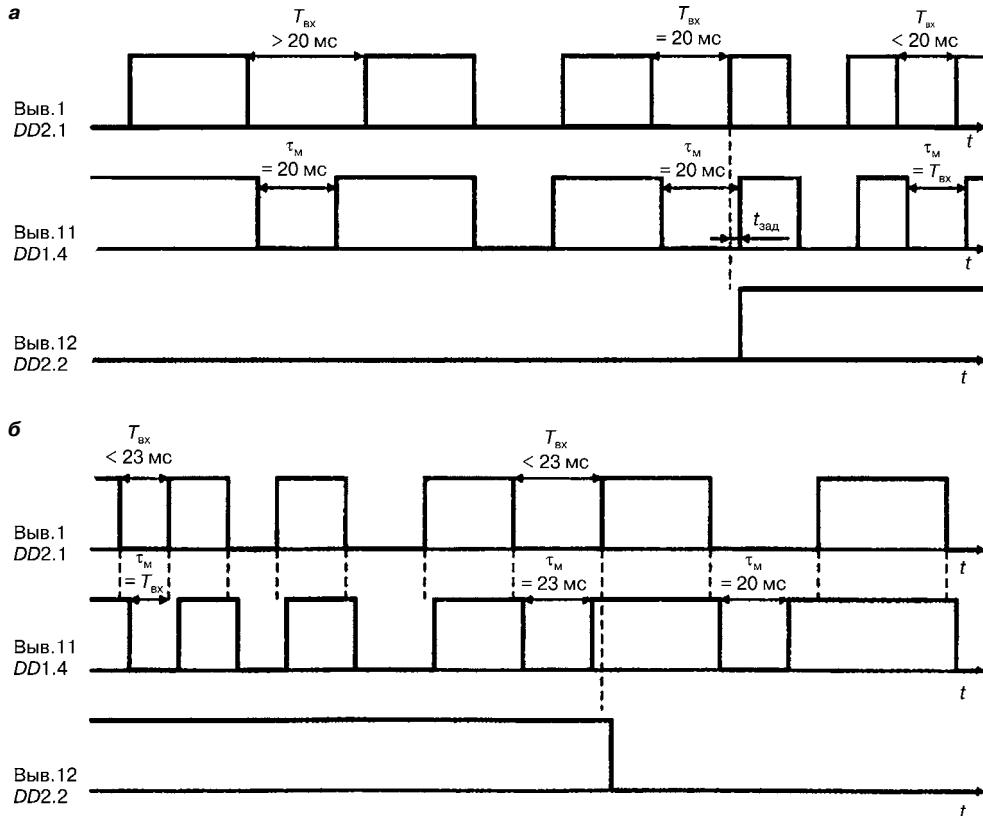


Рис. 3.23
Диаграммы сигналов на выходах микросхем

заменить на КТ342А, КТ342Б; КТ814А — на любой из этой серии или на КТ816А–КТ816В. Микросхемы серии К561 можно заменить на соответствующие из серий К564, К176, К164. При использовании микросхем серии К176 или К164 необходимо напряжение питания микросхем уменьшить до 9 В, а стабилитрон Д814Г заменить на Д814В. В электронном блоке экономайзера применены резисторы МЛТ, конденсаторы C1 — КСО-5, C2 — КД, C3, C4 — К10-17, C6 — КЛС, C7 — К53-1А.

Для налаживания электронного блока управления экономайзером необходимы генератор импульсов и осциллограф. Сначала осциллограф подключают к выходу DD1.2, подавая с выхода генератора на вывод 1 DD1.1 сигнал частотой 30–200 Гц, проверяют длительность выходных отрицательных импульсов. Она должна быть примерно равна 4 мс. Если необходимо обеспечить длительность входных отрицательных импульсов равной 4 мс, подбирают R4. Если известно точное значение емкости C3, то номинал R4 можно рассчитать по формуле

$$R4 = \frac{5,8}{C3},$$

где R4 — в кОм, C3 — в мкФ.

После этого $R10$ отключают от выхода триггера и замыкают на общий провод, а осциллограф подключают к этому выходу триггера. При включении питания на инверсном выходе $DD2.2$ должен быть низкий логический уровень. На верхний по схеме вход $DD1.1$ подают импульсы частотой следования 50 Гц и, подбирая $R7$ (а при необходимости и $R6$), добиваются появления на инверсном выходе $DD2.2$ высокого уровня.

Далее $R10$ отключают от общего провода и подсоединяют к плюсовому проводу питания микросхем. На вход устройства подают сигнал частотой 43 Гц и подбирают $R8$, добиваясь появления сигнала 0 на инверсном выходе $DD2.2$. Потом восстанавливают соединение $R10$ с триггером и проверяют срабатывание триггера, плавно увеличивая частоту импульсов генератора. При частоте 50 Гц на инверсном выходе $DD2.2$ должен установиться сигнал 1. Теперь уменьшают частоту импульсов. При прохождении частоты 43 Гц сигнал 1 на инверсном выходе триггера должен смениться на 0. Блок готов к работе.

При отсутствии осциллографа подключают параллельно $VD3$ лампу накаливания на напряжение 12 В и ток 0,3 А (или светодиод). На частоте 50 Гц лампа должна гаснуть, а на частоте 43 Гц — загораться.

Описанный электронный блок может работать и без микропереключателя, если заменить электромеханический способ контроля за закрытием дроссельной заслонки на вакуумный.

В заключение отметим, что описанный блок управления экономайзером можно использовать без переделки на автомобилях с системой «Каскад».

Из-за того, что $VT2$ и $VT3$ (рис. 3.20а) работают в режиме, близком к активному, на них бесполезно рассеивается мощность и заметно снижается напряжение на обмотке клапана. Экономайзер будет работать надежнее, если транзисторы перевести в ключевой режим, соединив эмиттер $VT2$ с общим проводом, а между коллектором и точкой подключения $R12$ к базе $VT3$ следует ввести резистор сопротивлением около 240 Ом и мощностью 1 Вт (рис. 3.20в). $VT2$ при этом может быть использован со статическим коэффициентом передачи тока базы не более 100.

Неудачен и способ выделения текущего значения периода повторения импульсов системы зажигания. Дело в том, что переключения в этом устройстве происходят не в момент размыкания контактов прерывателя, как следовало бы, а несколько позже, когда затухает колебательный процесс в первичной цепи системы зажигания. Скорость же протекания этого процесса зависит от ряда факторов и поэтому различна. В результате при выделении периода повторения импульсов системы зажигания (посредством $DD2.1$) возникают дополнительные погрешности, что ведет к ухудшению стабильности порогов срабатывания блока.

Кроме того, ключевой усилитель блока находится под угрозой отказа при случайному замыканию выходной цепи на корпус автомобиля. Такие ситуации на практике весьма вероятны, поэтому все блоки управления промышленного изготовления снабжены узлом защиты от замыкания цепи нагрузки. Его состав, принцип действия и характеристики элементов схемы приведены далее.

3.2.3. САУ ЭПХХ С СЕМИШТЫРЬКОВЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ БЛОКАМИ

САУ ЭПХХ, применяемая на автомобилях с карбюраторами типа «Солекс» (рис. 3.24), отличается от рассмотренных выше систем и состоит из датчика-винта 6, электромагнитного клапана 5, электронного блока управления 4.

На режиме торможения автомобиля двигателем (т. е. при движении по инерции с включенной передачей и отпущенными педалью управления карбюратором), называемом также принудительным холостым ходом, условия сгорания рабочей смеси в цилиндрах резко ухудшаются, в отработавших газах возрастает содержание продуктов неполного сгорания — в основном окиси углерода (CO) и углеводородов (CH), непроизводительно расходуется топливо.

САУ ЭПХХ предназначена для уменьшения выброса токсичных веществ с отработавшими газами, а также для снижения расхода топлива. Отключение топливоподачи через систему холостого хода на режиме ПХХ позволяет решить обе эти проблемы.

Отключение топливоподачи на ПХХ производится при помощи установленного в крышке карбюратора электромагнитного клапана на топливном жиклере холостого хода. Подачей тока в обмотку электромагнитного клапана управляет электронный блок, соединенный в электрическую цепь с клапаном, источником питания, катушкой зажигания, датчиком положения дроссельной заслонки на карбюраторе, а также «массой» автомобиля.

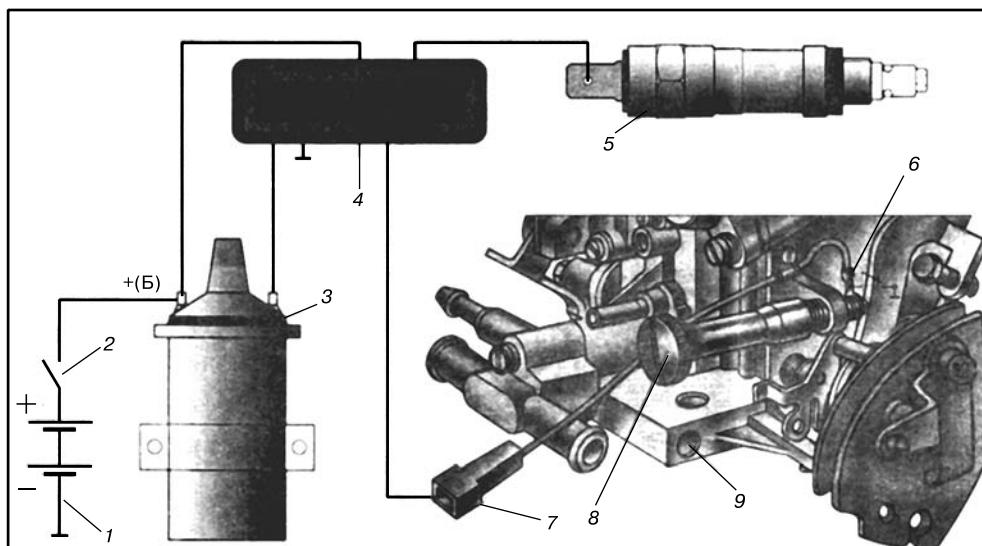


Рис. 3.24
Схема подключения семиштырькового блока управления ЭПХХ:

1 — аккумулятор; 2 — выключатель зажигания; 3 — катушка зажигания; 4 — ЭБУ; 5 — электромагнитный клапан; 6 — датчик-винт; 7 — клеммная колодка датчика-винта; 8 — регулировочный винт количества; 9 — регулировочный винт качества (состава смеси).

Импульсы тока от катушки зажигания 3 дают информацию о частоте вращения, а датчик 6 положения дроссельной заслонки (датчик-винт), представляющий собой контакт на упорном винте 8 дроссельной заслонки, механически замыкаемый на «массу» при полностью закрытой заслонке, сигнализирует о переходе карбюратора в режим холостого хода.

Режим ПХХ, при котором обмотка электромагнитного клапана обесточивается и подача топлива через систему холостого хода прекращается, наступает, когда блок управления регистрирует одновременное наличие двух факторов: повышенная частота вращения коленчатого вала (более 2100 об/мин) и закрытая дроссельная заслонка.

Режим ПХХ прекращается и подача топлива возобновляется, если водитель:

- не нажимая на педаль дроссельной заслонки, уменьшает скорость движения, выключает сцепление или, включив нейтраль, перейдет на холостой ход (сработает отключение режима ПХХ по частоте вращения);
- нажмет на педаль управления дроссельными заслонками и продолжит движение с высокой частотой вращения (произойдет отключение режима ПХХ по положению дроссельной заслонки).

Для повышения устойчивости работы двигателя и исключения рывков отключение топливоподачи происходит при одной частоте вращения (около 2100 об/мин), а включение — при другой, на 150–200 об/мин меньшей.

Обесточивание электромагнитного клапана происходит также и при выключении зажигания, чем исключается дизелинг, который может привести к весьма неприятным последствиям — из-за возможных «обратных ударов» (преждевременных вспышек в цилиндрах при движении поршня вверх в такте сжатия). Поэтому не рекомендуется убирать систему ЭПХХ (заменяя клапан заглушкой или удаляя его запорную иглу) не только по экономическим соображениям — существует вероятность самовоспламенения при работе двигателя.

Последовательность включения в работу ЭПХХ представлена в табл. 3.4.

Экономия топлива благодаря ЭПХХ составляет 0,2–0,5 л на 100 км пробега.

Датчик-винт (2108-1107240) выполняет такую же функцию, что и микропереключатель в системе «Каскад», только у датчика-винта при закрытой дроссельной заслонке контакты замкнуты, а при открытой — разомкнуты. Для датчика-винта характерны две основные неисправности:

- короткое замыкание на «массу»;
- отсутствие контакта с массой при отпущененной педали акселератора.

Таблица 3.4

Порядок работы ЭПХХ

Режим работы двигателя	Относительная частота вращения КВ	Положение дроссельной заслонки	Состояние электромагнитного клапана	Положение контактов датчика-винта	Подача топлива
Холостой ход	Пониженная	Закрыта	Включен	Замкнуты	Есть
Нагрузочный	Повышенная	Открыта	Включен	Разомкнуты	Есть
ПХХ	Повышенная	Закрыта	Выключен	Замкнуты	Нет

Первый дефект проявляется в дерганье автомобиля из-за автоколебаний (об этом явлении см. описание системы «Каскад»), а второй — в ухудшении торможения двигателем из-за прекращения работы ЭПХХ. Обе неисправности можно устранить при помощи тестера или контрольной лампочки, один вывод которой соединен с «плюсом» аккумуляторной батареи, а второй — с выводом 7 датчика-винта (отключенным от жгута проводки автомобиля).

При полностью отпущенном педали акселератора лампочка должна гореть (при этом не мешает проверить, что привод дроссельной заслонки не препятствует ее полному закрытию, т. е. что заслонка не зависает на приводе). Если она не горит, то возможен внутренний обрыв с его выводом. При отсутствии обрыва необходимо повернуть датчик-винт до момента загорания контрольной лампочки. Если частота вращения коленчатого вала на холостом ходу при этом будет завышена (по сравнению с ее значением, указанным в руководстве по эксплуатации автомобиля), необходимо отрегулировать карбюратор.

После открытия дроссельной заслонки (педаль газа нажата) лампочка должна погаснуть. Если этого не происходит — значит, датчик-винт имеет внутреннее короткое замыкание и его надо заменить.

Электромагнитный клапан (2108-1107420) является исполнительным элементом ЭПХХ, запорная игла которого перекрывает подачу топлива через жиклер холостого хода карбюратора. Включение и отключение клапана осуществляется ЭБУ.

Промышленностью выпускаются два типа клапанов для карбюраторов «Солекс». При замене лучше покупать больший (рис. 3.25), с диаметром хвостовой части — 20 мм (обмотка из более толстого провода), но можно и тонкий (рис. 3.24), диаметром — 13 мм.

Однако качество этих клапанов оставляет желать лучшего. При продаже их нередко проверяют с помощью имеющегося у продавца аккумулятора, но один-два щелчка говорят только о целостности обмотки электромагнита.

Жиклеры холостого хода имеют маркировку в диапазоне 38–44. Чем больше номер, тем больше диаметр центрального отверстия жиклера и выше предельные обороты холостого хода. При замене электромагнитного клапана жиклер следует устанавливать с той же маркировкой, что и на сломанном клапане, или переставить родной жиклер на новый клапан. Жиклер должен плотно удерживаться в клапане. Иногда для этого нужно разогнуть его хвостовую часть, вставив лезвие ножа в прорезь.

Очень важно правильно установить клапан на карбюратор. Заворачивание клапана от руки часто бывает одной из причин неустойчивых оборотов холостого хода.

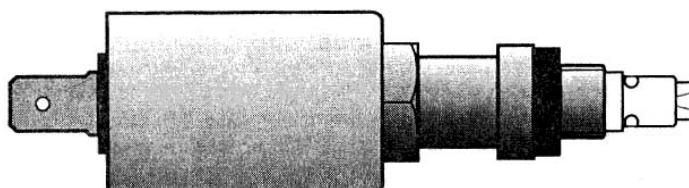


Рис. 3.25
Внешний вид одного из электромагнитных клапанов для карбюраторов «Солекс»

Ошибочна также методика, предложенная в статье «Капризный клапан» (За рулем. 1994. № 4): «Положим, двигатель работает на холостом ходу при отключенном электропитании клапана. Не спеша доворачивайте его: пока смесь нормализуется и обороты увеличиваются; когда мотор заглохнет — значит, клапан затянут. После этого пустите двигатель и, подключая и отключая провод, убедитесь в том, что клапан действительно работает». Дело в том, что мотор заглохнет, когда конец жиклера только начал входить в посадочное место в карбюраторе, но еще не дошел до конца.

Иногда эту рекомендацию дополняют: «После этого при необходимости доверните клапан еще на один оборот» (За рулем. 1997. № 12). Однако если электромагнитный клапан перетянуть, можно, во-первых, испортить жиклер холостого хода (рис. 3.26), во-вторых, испортить посадочное место, куда входит жиклер, в-третьих, сорвать резьбу в крышке карбюратора.

Результаты: в первом случае — жиклер просто меняется на новый; во втором — замена крышки карбюратора; в третьем — замена или ремонт крышки (рассверлить и поставить резьбовую втулку). В руководстве по техническому обслуживанию и ремонту указан момент затяжки электромагнитного клапана, равный 0,4 кгс·м (3,68 Н·м). При отсутствии динамометрического ключа предпочтительнее воспользоваться описанной ниже методикой.

Нужно снять с электромагнитного клапана резиновый уплотнитель, без усилия ввинтить рукой до упора, считая обороты, и запомнить, в каком положении оказался контакт. Затем надеть уплотнитель, завинтить — сначала рукой, потом ключом на 13 до того же положения, не дальше. При заведенном двигателе клапан можно чуть-чуть отвернуть (не более 120°), добиваясь максимальных оборотов.

Работоспособность электромагнитного клапана сначала проверяют на заглушенном двигателе при включенном зажигании, снимая и надевая провод, ведущий к его контакту, при этом должен быть хорошо слышен щелчок. Если его нет, нужно снять с установленного в карбюратор клапана провод от блока управления и соединить контакт клапана другим проводом напрямую с плюсовой клеммой аккумулятора. Появление щелчка указывает либо на обрыв провода в жгуте между клапаном и блоком управления, либо на плохой контакт в разъеме, либо на неисправность блока управления. Отсутствие щелчка говорит о неисправности электромагнитного клапана: возможно, произошел обрыв обмотки (сопротивление обмотки клапана должно быть в пределах: 70–80 Ом — для толстых клапанов; 30–40 Ом — для тонких).

На заведенном двигателе (холостой ход) при снятии провода с контакта клапана двигатель должен заглохнуть. Если этого не произойдет, нужно



Рис. 3.26
Пример деформации
жиклера при перетяжке
электромагнитного клапана

повторить установку клапана в карбюратор. Бывает, что щелчки есть, а игла не полностью выходит из электромагнита. Возможно также, что карбюратор неправильно отрегулирован, и питание двигателя на холостом ходу осуществляется в обход системы холостого хода — за счет приоткрытой заслонки первой камеры. На это указывает также отсутствие реакции (изменения оборотов ХХ) при вращении винтов качества и количества смеси.

Нередко засоряется жиклер холостого хода. Его центральное отверстие можно прочистить проволочкой от многожильного медного монтажного провода, промыть ацетоном или аэрозольным очистителем карбюратора и продуть.

Необходимо также следить за состоянием запорной иглы клапана. Если на ней обнаружены заусенцы, то необходимо притереть иглу к седлу жиклера клапана (используя притирочную пасту).

Состояние резинового уплотнителя тоже влияет на работу системы ЭПХХ. При расслаивании уплотнителя начинается подсос воздуха, смесь обедняется. Это проявляется в падении оборотов холостого хода и может сопровождаться «плаванием» оборотов на ХХ.

Иногда при движении может слегка ощущаться запах бензина, в этом случае следует проверить резиновый уплотнитель и, если он поврежден, заменить его. Лучше всего использовать уплотнители, которые при сборке карбюратора устанавливает завод-изготовитель. Из тех, что предлагаются в различной продаже, красные более бензостойкие, чем черные.

Известны случаи, когда подсос воздуха шел через корпус клапана в результате трещины в эпоксидном слое вокруг клеммы или из-за плохого уплотнения.

Проверка снятого с автомобиля электромагнитного клапана производится согласно рис. 3.27.

При включении источника питания должен быть слышен щелчок клапана, амперметр должен регистрировать ток, который не превышает 0,3–0,4 А при напряжении питания 14 В (для тонких клапанов) и 0,15 А — для толстых.

В случае выхода из строя электромагнитного клапана в пути и если нет возможности его замены на месте, придется удалить запорную иглу клапана, вывернув ее пассатижами или обломав пластмассовый наконечник. После этого вернуть клапан на место.

Карбюратор «Солекс» по сравнению с карбюратором «Озон» обеспечивает более высокие экономические показатели. Однако ему присущ один существенный недостаток, касающийся работы ЭПХХ, отключающего подачу

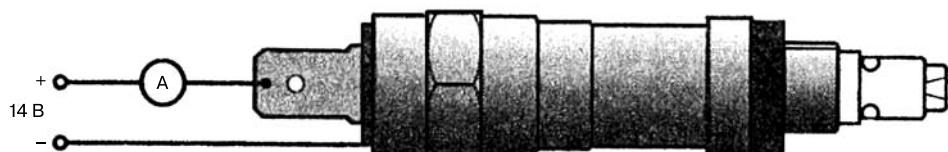


Рис. 3.27
Схема для проверки электромагнитного клапана

топлива в режиме принудительного холостого хода двигателя. Место перекрытия подачи топлива встроенным в карбюратор электромагнитным клапаном у «Солекса» находится значительно выше места вывода топливовоздушной смеси из канала холостого хода. Поэтому при переводе двигателя с принудительного холостого хода на холостой ход приходится возобновлять подачу топлива задолго до момента наступления режима ХХ. Это необходимо для того, чтобы канал холостого хода карбюратора успел заполниться топливовоздушной эмульсией, иначе при указанной смене режима двигатель остановится. По этой причине требуемый порог включения электромагнитного клапана оказывается чрезмерно высоким (при частоте вращения коленчатого вала двигателя 1900 об/мин).

Поскольку порог отключения электромагнитного клапана должен превышать порог включения на 200–300 об/мин, в блоке управления 50.3761, предназначенном для работы с карбюратором «Солекс», он принят равным 2100 об/мин. Это означает, что экономайзер может прекратить подачу топлива лишь в том случае, если при отпускании педали акселератора частота вращения коленчатого вала превышает 2100 об/мин.

Электронный блок управления 4 (см. рис. 3.24) получает информацию о частоте вращения коленчатого вала через вывод 1 с первичной обмотки катушки зажигания 3 и от датчика-винта 6 о положении первой дроссельной заслонки карбюратора. Датчик-винт соединяется с «массой» вывод 5 блока при закрытой заслонке (педаль газа отпущена). К выводам 2 и 4 подводится напряжение питания блока. Управляющий сигнал на электромагнитный клапан подается с вывода 6 блока.

Когда датчик-винт не замкнут на «массу», т. е. первая дроссельная заслонка не закрыта, электронный блок подает питание на клапан при любой частоте вращения коленчатого вала. Если замкнут (педаль газа отпущена — дроссельная заслонка закрыта, т. е. при торможении двигателем, движении под уклон с включенной передачей, при переходе на принудительный холостой ход), то в этом случае включение электромагнитного клапана зависит от частоты вращения коленчатого вала. Если в момент закрытия первой дроссельной заслонки частота вращения была выше 2100 об/мин, то блок управления отключит клапан и включит его, когда частота вращения коленчатого вала снизится до 1900 об/мин или если нажать на педаль газа.

Для проверки блока управления необходимо на холостом ходу снять провод с контакта датчика-винта и соединить его с «массой». Затем, медленно открывая дроссельную заслонку, повысить обороты до порога отключения, чтобы добиться возникновения автоколебаний (двигатель при этом должен работать с пульсацией частоты вращения коленчатого вала — она хорошо заметна на слух). Если этого не удается добиться, то блок управления неисправен.

Исправность блока можно проверить и вольтметром, включенным между выводом блока управления и корпусом («массой») автомобиля (т. е. параллельно клапану). На минимальной частоте холостого хода напряжение, показываемое вольтметром, должно быть не менее 10 В. Далее, нажимая на

Характеристики шестиштырьковых блоков управления ЭПХХ

Тип блока управления	Модель автомобиля	Порог включения ($n_{вкл.}$), об/мин/ Частота включения ($f_{вкл.}$), Гц	Порог отключения ($n_{откл.}$), об/мин/ Частота отключения ($f_{откл.}$), Гц	Диапазон частоты генератора, Гц	Длительность импульса, мс	Амплитуда импульса, В	Падение напряжения на выходном транзисторе, В
50.3761 (503.3761)	ВАЗ-2108, -09, -099; ЗАЗ-1102; АЗЛК 21412-01	$\frac{1900}{63,3 \pm 3,2}$	$\frac{2100}{70 \pm 3,5}$	1–200	$2,5 \pm 0,5$	100 ± 5	0,7
501.3761 (5013.3761)	ВАЗ с карбюраторами «Солекс»	$\frac{1700}{41,5 \pm 1,9}$	$\frac{1900}{63,3 \pm 3,2}$	1–200	$2,5 \pm 0,5$	100 ± 5	0,7
502.3761 (5023.3761)	АЗЛК 21412 с карбюраторами «Озон»	$\frac{1250}{41,5 \pm 2,5}$	$\frac{1500}{50 \pm 2,5}$	1–200	$2,5 \pm 0,5$	100 ± 5	0,7

педаль газа, увеличиваю частоту вращения коленчатого вала двигателя до 4000 об/мин и резко отпускают педаль. До тех пор пока обороты коленчатого вала не упадут до 1900 об/мин, напряжение, регистрируемое вольтметром, не должно превышать 0,5 В.

Вместо вольтметра нельзя использовать контрольную лампу: выходная цепь блока не рассчитана на ток лампы и однозначно выйдет из строя; лучше воспользоваться светодиодом.

В случае, когда известно, что неисправен ЭБУ, можно установить временную перемычку между выводами. Это позволит без проблем добраться до места ремонта.

Ниже приведены принципиальные схемы заводских блоков управления ЭПХХ и разработанные частными авторами принципиальные схемы, способные заменить промышленные образцы.

Многие блоки имеют сходную конструкцию, а по разводке контактов полностью совпадают. Поэтому при необходимости один блок можно заменить на другой, но при обязательном условии: предполагаемый для замены блок должен иметь пороги срабатывания не ниже, чем у заменяемого, иначе после отпускания педали газа (акселератора) двигатель при выходе на холостой ход может заглохнуть. Отметим, что при такой замене произойдет некоторое снижение эффективности работы экономайзера, что связано с ранним возобновлением подачи топлива при торможении двигателем. Поэтому все же лучше использовать блок управления того же типа (или отремонтировать вышедший из строя), купленный блок настроить на соответствующие вашему двигателю пороги срабатывания либо изготовить блок самостоятельно, настроив на указанные в табл. 3.5 пороги срабатывания.

Модификации блоков отличаются только значениями порогов срабатывания (табл. 3.5). Семиштырьковые блоки можно заменить и на четырехштырьковые, включив их по специальной схеме.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ЭПХХ 50.3761
И ЕГО МОДИФИКАЦИИ НА МИКРОСХЕМЕ СЕРИИ К425**

Характеристики блоков указаны в табл. 3.5. Принципиальная схема — на рис. 3.28.

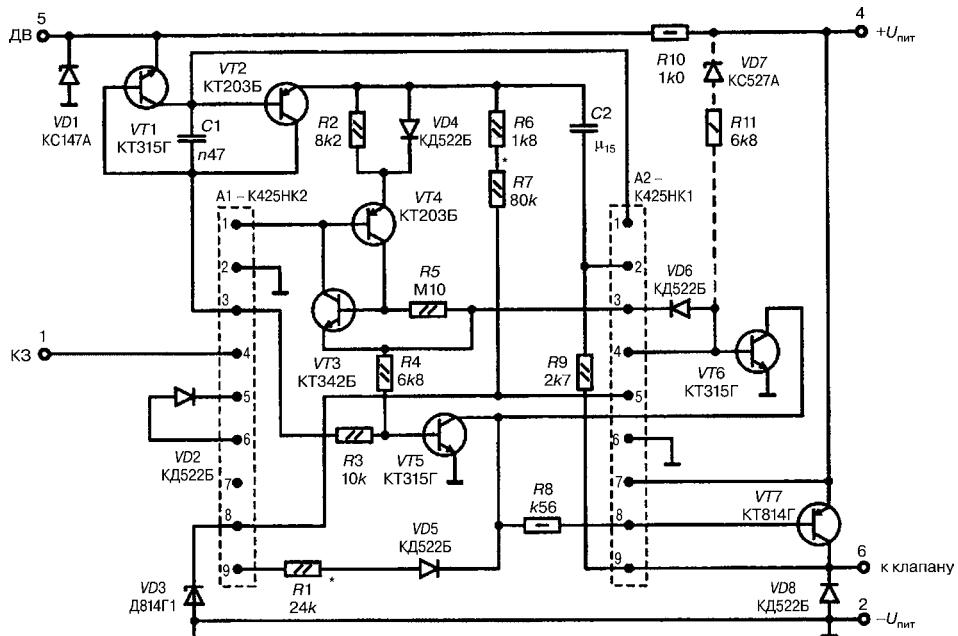


Рис. 3.28
Принципиальная схема блока управления 50.3761 — серия К425

**ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ЭПХХ 50.3761
И ЕГО МОДИФИКАЦИИ НА МИКРОСХЕМЕ СЕРИИ К554**

Характеристики блоков — см. табл. 3.5; принципиальная схема — рис. 3.29.

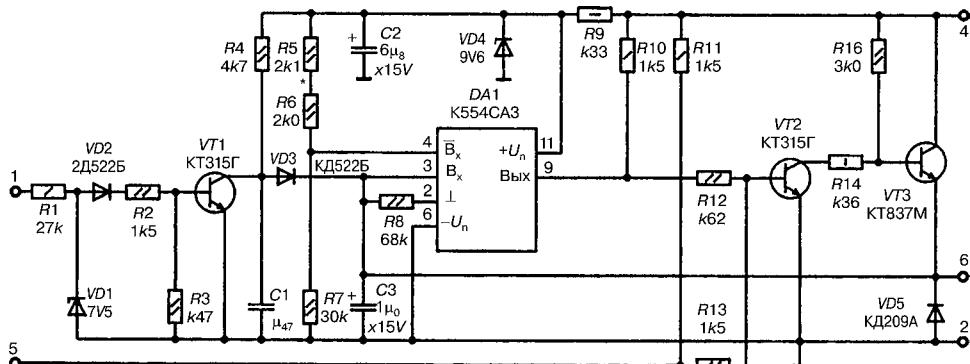


Рис. 3.29
Принципиальная схема блока управления 50.3761 — серия К554

ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ЭПХХ 50.3761 И ЕГО МОДИФИКАЦИИ НА МИКРОСХЕМЕ СЕРИИ К561

Характеристики блоков даны в табл. 3.5; принципиальная схема представлена на рис. 3.30.

Для замены блока управления 50.3761 и его модификаций на микросхеме серии К561 можно использовать устройство, схема которого изображена на рис. 3.31.

Сигнал с катушки зажигания поступает на контакт 1 блока управления. Формирователь, выполненный на диодах $VD1$, $VD2$, резисторах $R1-R4$, кон-

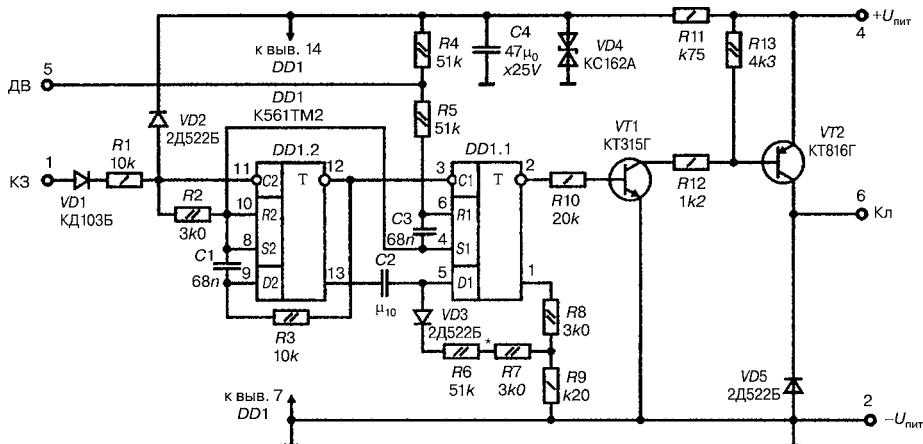


Рис. 3.30

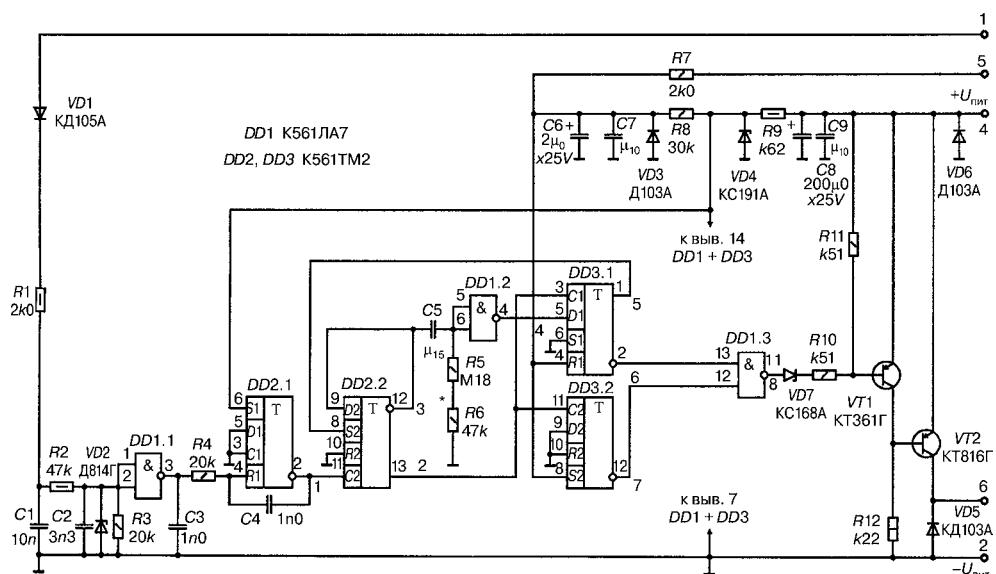


Рис. 3.31

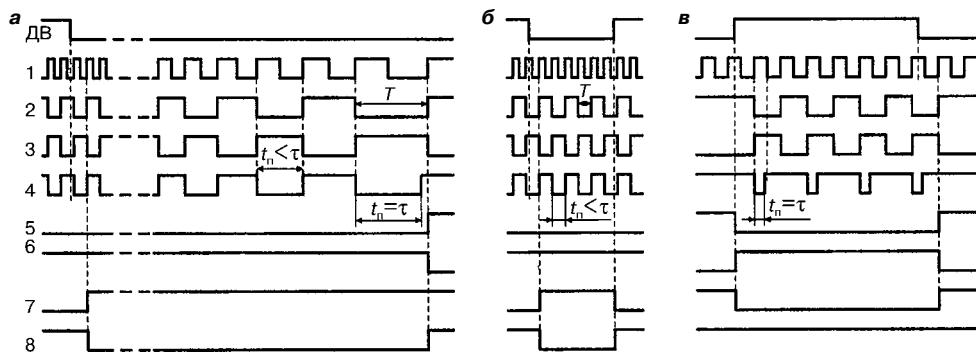


Рис. 3.32
Временные диаграммы (ДВ — сигнал датчика-винта)

денсаторах $C1-C4$, элементе $DD1.1$ и триггере $DD2.1$, преобразует этот сигнал в последовательность импульсов, поступающих на вход C триггера $DD2.2$. Он предназначен для выделения текущего значения периода повторения T импульсов системы зажигания. Так как вход D триггера соединен с инверсным выводом, при поступлении сигнала низкого уровня на вход 5 триггер работает в счетном режиме. При этом на его выходах формируются импульсы длительностью T и периодом повторения $2T$. Временные диаграммы, поясняющие работу устройства, показаны на рис. 3.32.

На конденсаторе $C5$, резисторах $R5, R6$ и элементе $DD2$ собран ограничитель длительности импульсов. Пороговая длительность τ паузы t_n между выходными импульсами элемента $DD1.1$ зависит от параметров времязадающей цепи $R5, R6, C5$ и равна 15,8 мс (соответствует пороговой частоте вращения 1900 об/мин). Текущая длительность паузы изменяется по следующему закону: $t_n = \tau$ при $T > \tau$ и $t_n = T$ при $T < \tau$. $DD3.1$ использован в качестве элемента сравнения периода T с длительностью t_n .

При нажатии педали акселератора (дроссельная заслонка открыта) контакты датчика-винта разомкнуты, поэтому на вход 2 блока управления сигнал не поступает. При этом $DD3.1$ находится в состоянии 0 и сравнения величин не происходит, хотя импульсы на выходах $DD2.2$ и $DD1.2$ формируются (рис. 3.32а).

После отпускания педали акселератора (дроссельная заслонка закрыта) контакты датчика-винта замыкаются и начинается процесс сравнения величин T и t_n . При $T < \tau$ (повышенная частота вращения) $DD3.1$ удерживается в нулевом состоянии до тех пор, пока не начнет выполняться условие $T > \tau$ (т. е. пока частота коленчатого вала не уменьшится до уровня порога включения). При этом $DD3.1$ переключается в состояние 1. На этом процесс сравнения величин T и t_n заканчивается. Таким образом, описанный процесс происходит однократно. Его началу предшествует размыкание контактов датчика и последующее их замыкание.

При $T < \tau$ (повышенная частота вращения) и после начала процесса сравнения размыкание и замыкание контактов датчика уже не влияет на $DD3.1$ — он остается в нулевом состоянии (рис. 3.32б).

При нажатии педали акселератора $DD3.2$ находится в состоянии 1; после отпускания педали он переключается в состояние 0. $DD1.3$ включен так, что сигнал 0 на его выходе появляется при $T < \tau$ лишь в том случае, если предварительно нажатая педаль акселератора отпущена. При этом $VT2$ закрыт, обеспечивая отключение подачи топлива в режиме ПХХ двигателя. В остальных случаях этот транзистор открыт, а подключенный к выходу блока управления электромагнитный клапан включен.

При $T < \tau$ (пониженная частота вращения) размыкание контактов датчика возвращает $DD3.1$, $DD3.2$ соответственно в состояние 1 и 0. Поскольку вход R одного и вход S другого, а также входы C попарно объединены, они переключаются синхронно. Поэтому многократное нажатие и отпускание педали акселератора в режиме холостого хода двигателя не приводит к появлению на выходе $DD1.3$ сигнала низкого уровня (рис. 3.32в), т. е. не происходит ложное отключение подачи топлива.

Известно, что импульсы зажигания формируются недостаточно равномерно. Поэтому в распространенных блоках управления экономайзером при недостаточной величине гистерезиса медленное изменение частоты вращения вблизи порога срабатывания вызывает многократное срабатывание устройства вместо однократного. Введение гистерезиса по частоте вращения служит средством борьбы с этим нежелательным явлением. Связь прямого выхода $DD3.1$ с входом S $DD2.2$ и переключение $DD3.1$ контактами датчика-винта исключают необходимость введения гистерезиса. Поэтому блок управления выполнен только с порогом включения, что позволяет повысить эффективность работы экономайзера путем ликвидации порога отключения (2100 об/мин), превышающего порог включения на 200 об/мин. Кроме того, упрощается налаживание блока, которое сводится только к подборке $R6$.

Другая особенность блока управления — принципиальное устранение автоколебаний. Это объясняется тем, что при отпущеной педали акселератора отключение подачи топлива может происходить лишь однократно. Для повторного отключения требуется нажать, а затем отпустить педаль акселератора.

Устройство можно собрать в корпусе блока 50.3761. Для повышения температурной стабильности порога включения использован конденсатор К73-9 (С5). Питание микросхем стабилизировано стабилизатором $VD4$ (рис. 3.31) на уровне около 9 В. Это обеспечивает работоспособность блока управления при изменении напряжения бортовой сети автомобиля в пределах от 10 до 15 В. Конденсаторы $C8$, $C9$ и диод $VD6$ служат для защиты устройства от коммутационных всплесков напряжения в бортовой сети. Цепь $R7$, $R8$, $C6$, $C7$, $VD3$ предназначена для защиты устройства от импульсных помех, возникающих на втором входе (выход 5) блока управления при разомкнутых контактах датчика-винта. Диод $VD7$ защищает транзистор $VT2$ от всплеска напряжения самоиндукции при отключении электромагнитного клапана.

Упрощенный аналог блока управления 50.3761 и его модификации: аналог блока управления, описанный выше, не имеет защиты выхода от замыкания на корпус автомобиля. Кроме того, после включения зажигания

(до пуска двигателя) блок устанавливается в произвольное состояние (этот недостаток не имеет принципиального значения, однако неприятен своей непредсказуемостью). Наконец, он сложен, что затрудняет его повторение малоподготовленными радиолюбителями. Перечисленные недостатки устранены в блоке, собранном по схеме на рис. 3.33 и являющимся аналогом блока 50.3761.

В блоке использована всего одна микросхема. Узел выделения текущего значения периода повторения импульсов построен не на триггерах. Период измеряется по интервалу времени между следующими один за другим короткими импульсами. Сравнение длительности импульсов происходит также без помощи триггеров. Кроме того, здесь отсутствует гистерезис по частоте вращения, а бесконтрольные срабатывания ликвидированы однократным переключением в течение каждого торможения двигателем. Этот способ уже хорошо зарекомендовал себя в блоке 1102.3761 управления экономайзером грузовиков ЗИЛ-130, поэтому целесообразно использовать его и на легковых автомобилях. К тому же, наладить такой блок значительно легче (впрочем, как и вышеописанный блок, где применен тот же принцип) — ведь требуется подобрать только один резистор.

После включения зажигания (без пуска двигателя) на выходе логического элемента *DD1.1* устанавливается высокий уровень и конденсатор *C5* заряжается через резистор *R7*. На выходе элемента *DD1.3* при этом будет низкий уровень, а на выходе *DD1.4* — высокий. Поэтому транзисторы *VT2*, *VT3* ключевого усилителя открыты и электромагнитный клапан экономайзера включен вне зависимости от состояния элемента *DD1.2* (или, иначе говоря, от положения педали акселератора).

Входной формирователь этого блока такой же, как и у описанного выше. При работе двигателя на *R3* выделяются импульсы высокого уровня, фронт которых совпадает с моментом размыкания контактов прерывателя. Цепь *C3*, *R4* укорачивает эти импульсы.

В режиме ХХ двигателя педаль акселератора отпущена и контакты датчика-винта (подключение к выходу 5 блока) замкнуты, поэтому на выходе *DD1.2* действует напряжение высокого уровня. *DD1.1* не пропускает на выход импульсы с верхнего по схеме входа (благодаря связи выхода *DD1.3*

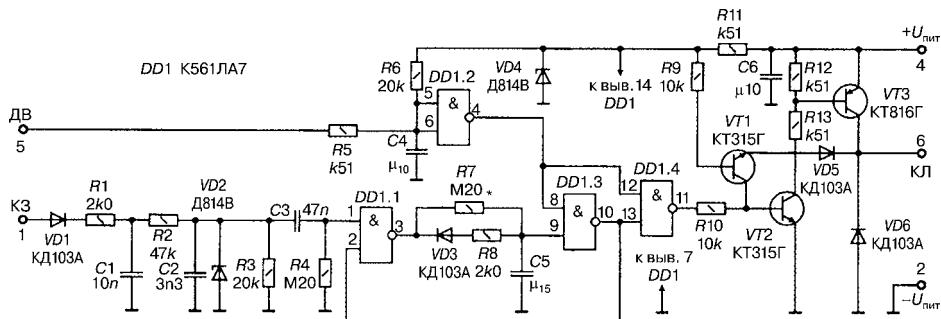


Рис. 3.33

Принципиальная схема упрощенного аналога блока управления экономайзером

и нижнего входа $DD1.1$), поэтому $C5$ полностью заряжен через $R7$. На выходе $DD1.4$ по-прежнему будет высокий уровень, транзисторы $VT2$, $VT3$ открыты, а электромагнит клапана экономайзера включен (есть подача топлива через систему холостого хода в карбюраторе).

Если теперь нажать на педаль акселератора (контакты датчика-винта карбюратора «Солекс» разомкнуты и выход 5 блока будет отключен от корпуса автомобиля), то на выходе $DD1.2$ появится низкий уровень, но вне зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя на выходе $DD1.4$ останется высокий уровень и к двигателю поступает топливо.

Если же после этого педаль акселератора отпустить при частоте вращения коленчатого вала, превышающей порог включения (для блока 50.3761 это 1500 об/мин), то на выходе $DD1.2$ и $DD1.3$ будет высокий уровень и $DD1.4$ переключится — его выходной изменится с высокого на низкий, $VT2$, $VT3$ закроются и клапан экономайзера остановит подачу топлива. Таким образом, система выявит наличие принудительного холостого хода двигателя.

После прихода на верхний по схеме вход $DD1.1$ короткого (около 0,7 мс) импульса, сформированного входной цепью, $C5$ быстро разряжается через $R8$ и $VD3$. После окончания импульса, когда разрядка $C5$ практически завершена, он вновь заряжается, но через $R7$. Этот процесс идет довольно медленно, поскольку сопротивление резистора велико. При повышенной частоте вращения коленчатого вала $C5$ не успевает зарядиться настолько, чтобы высокий уровень на выходе $DD1.3$ изменился на низкий. Но после ее уменьшения до порогового значения $DD1.1$ вновь переключается (сигналом на низкий по схеме вход) в состояние низкого уровня на выходе и процесс сравнения длительности импульсов заканчивается. Одновременно на выходе $DD1.4$ появляется высокий уровень, что приводит к возобновлению подачи топлива в двигатель.

Усовершенствованный аналог блока управления 50.3761 и его модификации. Ранее шла речь о том, что место перекрытия подачи топлива, встроенное в карбюратор электромагнитного клапана у «Солекса», находится значительно выше места вывода топливовоздушной смеси из канала ХХ, поэтому при переводе двигателя с ПХХ на ХХ приходится возобновлять подачу топлива задолго до момента наступления режима ХХ. Это необходимо для того, чтобы канал холостого хода карбюратора успел заполниться топливовоздушной эмульсией, иначе при указанной смене режима двигатель остановится. По этой причине требуемый порог включения электромагнитного клапана оказывается чрезмерно высоким (при частоте вращения коленчатого вала двигателя 1900 об/мин). Поскольку порог отключения электромагнитного клапана должен превышать порог включения на 200–300 об/мин, в блоке управления 50.3761, предназначенном для работы с карбюратором «Солекс», он принят равным 2100 об/мин. Это означает, что экономайзер может прекратить подачу топлива лишь в том случае, если при отпускании педали акселератора частота вращения коленчатого вала превышает 2100 об/мин. Однако согласно статистике весьма высокий процент реальных случаев принудительного холостого хода характеризуется меньшей частотой вращения коленчатого вала. Как уже отмечалось, несколько повысить эффект приме-

нения экономайзера можно, отказавшись от порога отключения, что является лишь частичным решением данной проблемы.

На рис. 3.34 показан график, характеризующий относительный эффект применения экономайзера в зависимости от заданного порога включения.

График получен экспериментально при движении автомобиля («Москвич-2140» с использованием блока управления, не имеющего порога отключения) в так называемом городском цикле. Эффект определялся путем регистрации доли времени работы экономайзера относительно суммарного времени поездки по электронному секундомеру, причем длительность работы экономайзера измерялась с дискретностью 0,1 с, общее время — 10 с. Из графика видно, что при пороге включения $n = 1900$ об/мин эффект применения экономайзера всего около одной трети от потенциально возможной экономии. Хотя сама экономия топлива сравнительно мала, данное устройство резко снижает токсичность отработанных газов. Поэтому и для сохранения чистоты атмосферы следует стремиться к уменьшению порога включения, тем более что при этом одновременно улучшаются тормозные качества двигателя.

Следует отметить, что при пороге включения 1245 об/мин (стандартное значение для упомянутой модели автомобиля) эффект применения экономайзера приближается к 100%. Однако указанные особенности карбюратора «Солекс» заставляют повышать порог включения примерно в 1,5 раза, а значит, идти на заведомое снижение эффекта.

Опыт показывает, что остановка двигателя при низком пороге включения возможна лишь в том случае, когда при снижении частоты вращения в режиме принудительного холостого хода трансмиссия разомкнута. При этом частота вращения вала двигателя уменьшается очень быстро. Можно было бы измерять угловое замедление коленчатого вала и при большом значении замедления, обеспечивая высокий порог включения, а при малом — низкий. Однако неравномерность следования импульсов системы зажигания делает эту идею практически неосуществимой.

Вместе с тем существует весьма простое решение проблемы. Действительно, необходимо иметь два порога срабатывания: верхний $n_{\text{откл}}$ и нижний $n_{\text{вкл}}$. Однако измерять замедление вала необязательно. Достаточно в режиме принудительного холостого хода после того, как частота вращения снизится до уровня $n_{\text{откл}}$, возобновлять подачу топлива на короткий отрезок времени t_n (около 1 с), а затем снова прекращать ее (разумеется, если этот режим движения еще длится). При снижении частоты вращения вала до уровня $n_{\text{вкл}}$ должно происходить окончательное возобновление подачи топлива.

Принципиальная схема блока управления экономайзером, реализующего описанный принцип работы, показана на рис. 3.35.

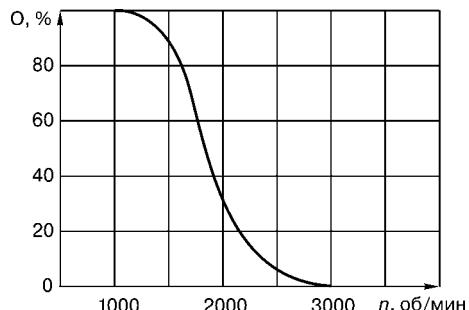


Рис. 3.34
Относительный эффект применения экономайзера в зависимости от заданного порога включения

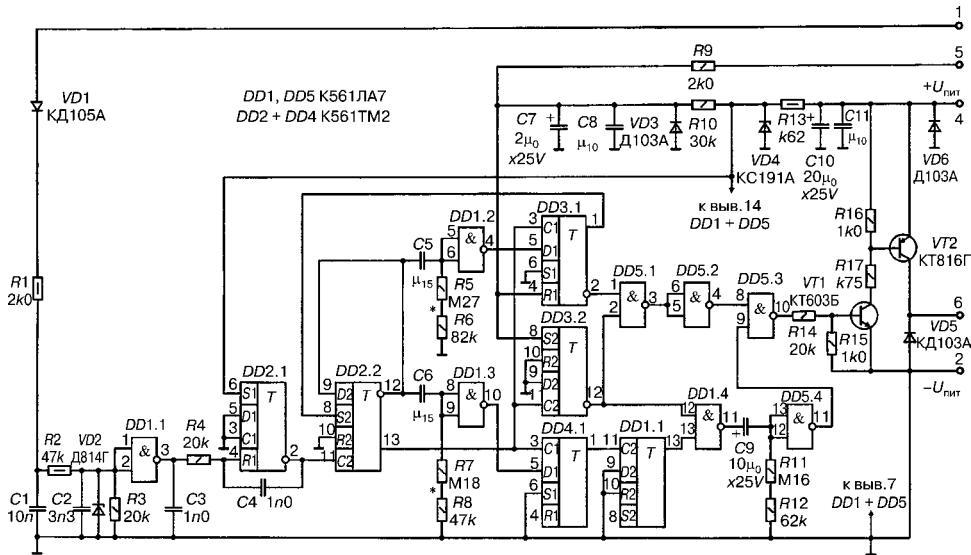


Рис. 3.35
Усовершенствованный блок управления экономайзером

Устройство разработано на основе первой схемы из упомянутых выше аналогов блоков управления, собранных на микросхемах серии К561. Сигнал с катушки зажигания здесь также поступает на вывод 1 блока управления, и на инверсном выходе триггера $DD2.1$ возникает последовательность импульсов той же частоты, что и у импульсов системы зажигания. $DD2.2$ предназначен для выделения периода T . При низком уровне на входе $S2$ этого триггера он работает в счетном режиме вследствие наличия связи его входа $D2$ с инверсным выходом. При этом на выходе $DD2.2$ формируются импульсы длительностью, равной T , период их повторения равен $2T$.

На конденсаторе $C5$, резисторах $R5$, $R6$ и логическом элементе $DD1.2$ выполнен формирователь образцовых интервалов времени, задающий значение $n_{вкл}$ (его устанавливают подборкой $R6$). Такой же формирователь собран на конденсаторе $C6$, резисторах $R7$, $R8$ и элементе $DD1.3$. Он задает значение $n_{откл}$ (устанавливают подборкой резистора $R8$).

Триггеры $DD3.1$ и $DD4.1$ сравнивают период T с длительностью паузы между импульсами соответственно на выходе элементов $DD1.2$ и $DD1.3$.

Формирователь, построенный на конденсаторе $C9$, резисторах $R11$, $R12$ и элементе $DD5.4$, служит для задания интервала времени t_p (около 1 с).

При нажатой педали акселератора (дроссельная заслонка открыта) контакты датчика-винта разомкнуты, поэтому вывод 5 блока управления свободен (отключен от корпуса). При этом $DD3.1$, $DD4.1$ и $DD3.2$, $DD4.2$ блокированы соответственно в состоянии 0 и 1. На выходах $DD1.4$, $DD5.1$, $DD5.3$, $DD5.4$ будет высокий уровень, а значит, транзистор $VT2$ открыт и топливо беспрепятственно протекает через электромагнитный клапан карбюратора.

Из-за нажатия на педаль акселератора частота вращения вала двигателя в той или иной мере повышенна (это зависит от глубины нажатия на педаль и

нагрузки на двигатель) по сравнению с ее значением в режиме холостого хода двигателя. Если теперь педаль акселератора отпустить, то возможны три варианта реакции блока в зависимости от исходной частоты вращения коленчатого вала в момент отпускания педали:

1. $n < 1245$ об/мин = $n_{\text{н}}$. $DD3.1, DD3.2, DD4.1, DD4.2$ переключаются в противоположное состояние. На выходе каждого из элементов $DD1.4, DD5.4$ и $DD5.1$ останется тот же уровень, что и при нажатой педали акселератора. Поэтому на выходе $DD5.1$ сохранится высокий уровень и подача топлива не прекратится;

2. $1245 \text{ об/мин} < n < 1900 \text{ об/мин} = n_{\text{н}}$. $DD3.1$ остается в том же состоянии, что и при нажатой педали акселератора, а $DD3.2, DD4.1, DD4.2$ переключаются в противоположное. На выходе $DD1.4$, а значит, и $DD5.4$ останется высокий уровень. На выходе $DD5.1$ появится уровень 0, поэтому на выходе $DD5.3$ также будет низкий уровень. Это соответствует прекращению подачи топлива;

3. $n < 1900$ об/мин. $DD3.2$ переключается в состояние, противоположное тому, в котором он был при нажатой педали акселератора, а $DD3.1, DD4.1, DD4.2$ останутся в том же состоянии. На выходе $DD1.4, DD5.1$ появится низкий уровень, а на выходе $DD5.4$ останется высокий. Поэтому на выходе $DD5.3$ будет низкий уровень, соответствующий прекращению подачи топлива.

При снижении частоты вращения вала до 1900 об/мин $DD4.1$, а за ним и $DD4.2$ переключаются в противоположное состояние. Это приведет к появлению на выходе элемента $DD1.4$ уровня 1, а на выходе $DD5.4$ — 0. Поэтому на выходе элемента $DD5.3$ появится высокий уровень, кратковременно возобновится подача топлива.

Через 1 с на выходе элемента $DD5.1$ снова появится сигнал 1, поэтому на выходе элемента $DD5.4$ высокий уровень сменится на низкий, подача топлива будет вновь прекращена.

После снижения частоты вращения вала до 1245 об/мин триггер $DD3.1$ переключится в единичное состояние. При этом на выходе элемента $DD5.1$ появится уровень 1, что соответствует, теперь уже окончательно, возобновлению подачи топлива.

Триггеры $DD3.1, DD3.2, DD4.1, DD4.2$ могут переключаться лишь синхронно. С одной стороны, либо вход R , либо вход S каждого из них объединены между собой, поэтому при нажатой педали акселератора они блокируются в том или ином состоянии одновременно, с другой стороны, при отпущеной педали акселератора (при замкнутом на корпус выводе 5 блока управления) их переключение по входу C может происходить лишь при подключении фронта импульса на выходе триггера $DD2.2$. Тем самым исключается всякая возможность появления на выходе блока управления ложных импульсов из-за воздействия на педаль акселератора.

Связь между выходом триггера $DD3.1$ и входом триггера $DD2.2$ обеспечивает однократное переключение первого из них при отпущеной педали акселератора. Благодаря этому при n , близком к 1245 об/мин, отсутствуют многократные переключения электромагнитного клапана, вызванные неравномерностью следования импульсов системы зажигания. С той же цельюведен триггер $DD4.2$, который после отпускания педали акселератора также

может срабатывать лишь однократно (вследствие связи его входа D2 с корпусом). Поэтому при n , близком к 1900 об/мин, несмотря на то что триггер DD4.1 может переключиться несколько раз, первое его переключение в единичное состояние приводит к переключению триггера DD4.2 в состояние 0, благодаря чему обеспечивается четкая работа электромагнитного клапана. Все это избавляет от необходимости введения гистерезиса по частоте вращения.

Более подробно взаимодействие узлов можно проследить по табл. 3.6, где указано состояние выходов триггеров и логических элементов в зависимости от положения педали акселератора и частоты вращения коленчатого вала двигателя.

На рис. 3.36 показаны тахограммы, поясняющие процесс возобновления подачи топлива при использовании экономайзера с описанным блоком управления.

При выключеной трансмиссии частота вращения вала снижается очень быстро (около 900 об/мин за 1 с). Поэтому ее уменьшение от 1900 до 1245 об/мин происходит быстрее чем за секунду. При этом фактически порог возобновления подачи топлива будет равным 1900 об/мин. Сопротивление резистора R10 должно быть выбрано так, чтобы при указанном переходном процессе не наблюдалось бы повторного срабатывания электромагнитного клапана (при $n = 1245$ об/мин). Подборку следует вести при хорошо прогретом двигателе, когда угловое замедление коленчатого вала будет минимально. При этом блок управления должен быть подключен к клапану, поскольку экономайзер оказывает влияние на тормозные качества двигателя (при его работе замедление увеличивается).

При замкнутой трансмиссии частота вращения вала двигателя в режиме принудительного холостого хода снижается весьма медленно. Поэтому после ее уменьшения до 1900 об/мин будет происходить кратковременное, а после

Таблица 3.6

Взаимодействие узлов

Уровень сигнала на выходе микросхем	Педаль акселератора				
	нажата		отпущена		
	при частоте вращения коленчатого вала двигателя, об/мин				
	любой	менее 1245	более 1245, но не менее 1900	1900	более 1900
DD3.1, выход 1	0	1	0	0	0
DD3.1, выход 2	1	0	1	1	1
DD3.2, выход 12	0	1	1	1	1
DD4.1, выход 1	0	1	1	1	0
DD4.2, выход 13	1	0	0	0	1
DD5.1	1	1	0	0	0
DD5.2	0	0	1	1	1
DD1.4	1	1	1	1	0
DD5.4	1	1	1	0	1
DD5.3	1	1	0	1	0

снижения до 1245 об/мин — окончательное возобновление подачи топлива. Длительность кратковременного импульса по сравнению с продолжительностью этого режима, как правило, очень мала, значит, фактический порог возобновления подачи топлива будет равен 1245 об/мин.

Кратковременное возобновление подачи топлива в режиме длительного торможения двигателем, конечно, приводит к некоторым потерям топлива. Однако эти потери незначительны, зато обеспечивается готовность карбюратора и впускного трубопровода двигателя к последующему возобновлению подачи топлива.

Как было показано выше, если при переходе в режим принудительного холостого хода частота вращения коленчатого вала двигателя будет меньше 1900 об/мин, то возобновление подачи топлива произойдет при нижнем пороге включения. Однако этот случай не является критичным с точки зрения непредвиденной остановки двигателя. Хотя такие ситуации встречаются часто, обычно они непродолжительны и не приводят к заметному осушению впускного трубопровода и охлаждению цилиндров двигателя. Поэтому после них переход двигателя на холостой ход происходит без проблем.

Следует иметь в виду, что чрезмерно большая длительность кратковременного топливного импульса вредна не только с точки зрения экономии топлива, но и потому, что при недостаточно прогретом двигателе она приводит к неприятным хлопкам в выпускном тракте двигателя. Это объясняется тем, что при возобновлении подачи топлива в цилиндры двигателя вначале попадает обедненная топливовоздушная смесь, которая не может воспламеняться и выбрасываться в выпускной тракт. Если длительность t_n велика, то начавшиеся затем вспышки в цилиндрах поджигают эту порцию смеси, которая сгорает с легким хлопком. По указанным причинам длительность топливного импульса должна быть минимально необходимой.

В заключение укажем, что подобный блок управления целесообразно применять и в системе, в которой используется электромагнитный клапан, предназначенный для отключения подачи топлива после выключения зажигания. При необходимости пороги срабатывания могут быть подобраны опытным путем.

Модернизированный аналог блока управления 50.3761 и его модификации

Аналог блока управления 50.3761 по сравнению с заводским обеспечивает лучшую топливную экономичность, поскольку возобновляет подачу топлива при меньшей частоте вращения коленчатого вала. Однако он довольно сложен для повторения.

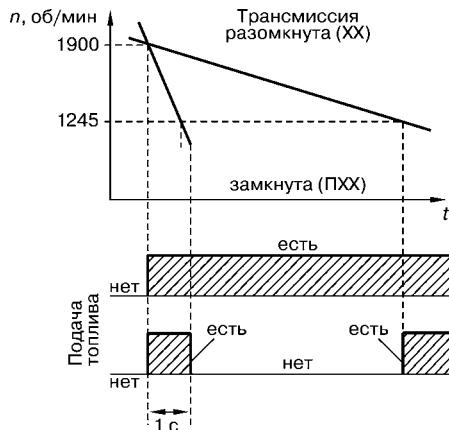


Рис. 3.36
Тахограммы, поясняющие процесс возобновления подачи топлива при использовании системы ЭПХХ с описанным блоком управления

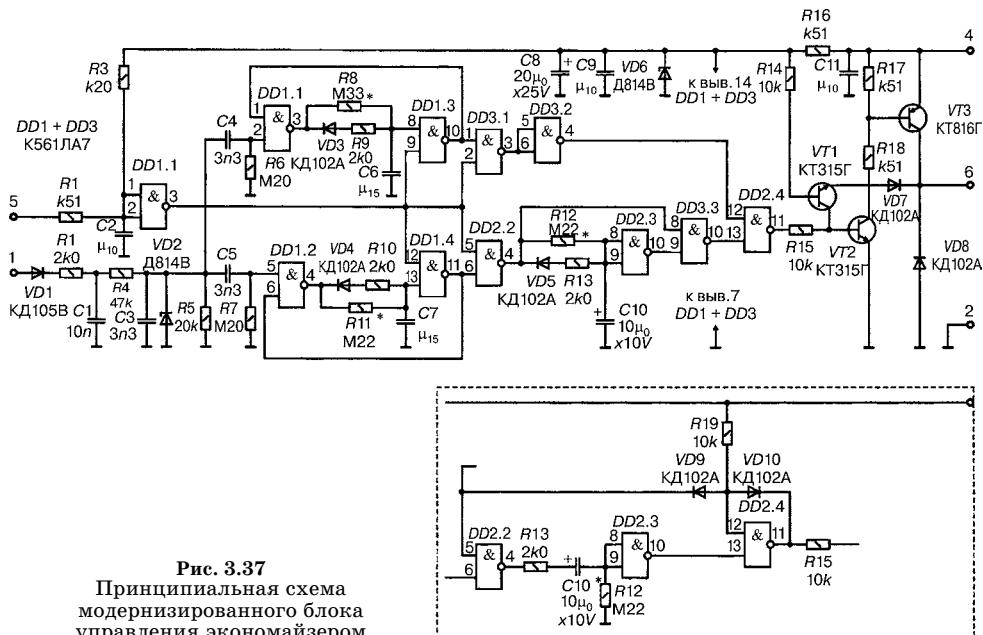


Рис. 3.37
Принципиальная схема
модернизированного блока
управления экономайзером

Упрощенный аналог блока управления может быть собран всего на одной микросхеме, но он не может снизить потребление топлива в такой же мере, как первый блок. На рис. 3.37 представлена схема блока, разработанная на основе упрощенного блока управления, в которой за счет некоторого усложнения простыми средствами реализованы преимущества первого блока управления.

Модернизированный блок собран на трех микросхемах, в нем не использованы триггеры, которые на автомобиле могут давать сбои из-за высокого уровня помех.

Входная *RCD*-цепь (резисторы R_2 , R_4 , R_5 , конденсаторы C_1 , C_3 , диод VD_1 , стабилитрон VD_2) традиционна для подобного рода устройств. Она формирует из импульсов сложной формы, возникающих на катушке зажигания, однородные положительные импульсы. Период T (в мс) их повторения, как известно, связан с частотой вращения n (в об/мин) коленчатого вала двигателя зависимостью $T = 30\,000/n$. Поэтому верхнему порогу включения (1900 об/мин) будет соответствовать период 15,6 мс, а нижнему (1245 об/мин) — 24,1 мс.

На логических элементах $DD_{1.1}$, $DD_{1.3}$ и $DD_{1.2}$, $DD_{1.4}$ собраны формирователи, настроенные на интервалы времени 24,1 и 15,8 мс соответственно. Формирователи запускаются импульсом с периодом T через дифференцирующие цепи C_4 , R_6 и C_5 , R_7 . Логический элемент $DD_{2.1}$ включен инвертором. На его выходе низкий уровень напряжения, когда педаль акселератора нажата, и высокий — когда отпущена. В первом случае формирователи не работают, во втором — они сравнивают период T со значениями 15,8 и 24,1 мс соответственно. Результат этого сравнения снимают с выхода элементов $DD_{2.2}$ и $DD_{3.1}$ соответственно.

Так, при нажатой педали акселератора на выходе обоих формирователей высокий уровень напряжения. А при отпущеной педали на выходе элемента *DD2.2 (DD3.1)* высокий уровень, если $T < 15,2$ мс ($< 24,1$ мс), и низкий, если $T > 15,8$ мс ($> 24,1$ мс). Сигнал с выхода элемента *DD3.1* подведен к верхнему по схеме входу элемента *DD2.4* через инвертор *DD3.2*. На нижний вход элемента *DD2.4* поступает сигнал с выхода элемента *DD3.3*, на котором совместно с элементом *DD2.3* выполнен еще один формирователь, настроенный на интервал времени 1 с.

Сигнал с выхода элемента *DD2.4*, усиленный по току, управляет работой электромагнитного клапана. Усилитель тока, собранный на транзисторах *VT2, VT3*, работает в переключательном режиме. Транзистор *VT1* вместе с диодами *VD7, VD8* составляет узел, защищающий мощный транзистор *VT3* при случайном замыкании выхода блока управления на корпус автомобиля.

При нажатой педали акселератора на выходе элемента *DD2.1* присутствует низкий уровень, поэтому на выходе элемента *DD3.1* — высокий уровень, а *DD3.2* — низкий. Следовательно, на выходе элемента *DD2.4* будет высокий уровень, транзисторы *VT2, VT3* открыты и привод электромагнитного клапана в карбюраторе «Солекс» включен (клапан открыт).

Если же теперь педаль акселератора отпустить, то реакция блока управления на это действие будет зависеть от достигнутой к этому моменту частоты вращения и скорости ее снижения после отпускания педали.

Так, при $n > 1900$ об/мин и замкнутой трансмиссии машины (т. е. когда n уменьшается, а значит, T увеличивается сравнительно медленно) порядок будет следующим. *C6* и *C7* не успевают зарядиться (соответственно через *R8* и *R11*) полностью. Поэтому на выходе *DD1.1* и *DD1.2* действует импульсный сигнал, а на выходе *DD1.3* и *DD1.4* пока высокий уровень. Это означает, что на выходе *DD2.2* и *DD3.1* низкий уровень, а *DD3.2* и *DD3.3* — высокий. Следовательно, на выходе элемента *DD2.4* присутствует низкий уровень, транзисторы *VT2, VT3* закрыты и электромагнитный клапан закрыт.

После уменьшения частоты вращения до 1900 об/мин *C6* из-за увеличения периода T успевает зарядиться настолько, что на выходе *DD1.4* появляется импульс низкого уровня. В результате действия обратной связи этого выхода с нижним входом *DD1.2* на его выходе вместо импульсного сигнала появляется высокий уровень (*C6* заряжается полностью), а на выходе *DD1.4* остается низкий уровень. Значит, на выходе *DD2.2* возникает высокий уровень, приводящий к срабатыванию формирователя на *DD2.3, DD3.3*, и приблизительно на 1 с высокий уровень на выходе *DD3.3* сменяется низким. Иначе говоря, на выходе *DD2.4* появляется импульс высокого уровня длительностью 1 с, приводящий к кратковременному открыванию *VT2, VT3* и клапана в карбюраторе. По окончании этого импульса транзисторы снова закрываются.

Но при дальнейшем уменьшении частоты вращения до уровня 1245 об/мин период T увеличивается уже настолько, что вследствие зарядки *C7* на выходе *DD1.1* и *DD1.3* появляются высокий (*C7* заряжается полностью) и низкий уровни соответственно. В результате действия обратной связи, как

и в предыдущем случае, на выходе *DD2.4* будет постоянный высокий уровень, а *VT2*, *VT3* будут открыты (клапан включен).

Когда же после отпускания педали акселератора частота вращения более 1900 об/мин, но уменьшается быстро (трансмиссия разомкнута), время, за которое она достигнет 1245 об/мин, будет меньше 1 с. Поэтому срабатывание формирователя на элементах *DD1.1*, *DD1.3* происходит до окончания этой выдержки. Следовательно, клапан в карбюраторе «Солекс» в этой неблагоприятной ситуации (двигатель может остановиться) будет включен (при 1900 об/мин, а не при 1245 об/мин). Если же в момент отпускания педали акселератора частота вращения более 1245 об/мин, но менее 1900 об/мин, то срабатывать будет лишь формирователь на элементах *DD1.1*, *DD1.3*, т. е. включение клапана будет происходить при 1245 об/мин.

Реакция блока управления на положение педали акселератора и частоту вращения коленчатого вала двигателя представлена в табл. 3.7.

Число микросхем в этом блоке можно уменьшить до двух. *DD2.3*, *DD2.4*, *C8* и *R11*, *R12* должны быть соединены несколько иначе (рис. 3.37, пунктир). Взамен *DD3* добавлены *VD9*, *VD10* и *R19*.

Работает этот вариант блока почти так же. Разница лишь в том, что вместо двух *DD3.1*, *DD3.3* здесь использовано устройство совпадения на *VD9*, *VD10* и *R19*. К тому же, в формировании односекундной выдержки взамен *DD2.3*, *DD3.2* с интегрирующей цепью использован *DD2.3* с дифференцирующей цепью. *VD5* не нужен, поэтому изъят.

Блок 501.3761 (и его разновидность 5013.3761) предназначен для работы с карбюраторами «Солекс» на некоторых моделях автомобилей ВАЗ. Отли-

Таблица 3.7

Состояние выходов триггеров и логических элементов в зависимости от положения педали акселератора и частоты вращения коленчатого вала двигателя

Уровень сигнала на выходе микросхем	Педаль акселератора				
	нажата		отпущена		
	при частоте вращения коленчатого вала двигателя, об/мин				
	любой	менее 1245	более 1245, но не менее 1900	1900	более 1900
DD2.1	0	1	1	1	1
DD1.2	И	1	1	1	И
DD1.4	1	0	0	0	1
DD2.2	1	1	1	1	0
DD2.3	0	0	0	1	1
DD3.3	1	1	1	0	1
DD1.1	И	1	И	И	И
DD1.3	1	0	1	1	1
DD3.1	1	1	0	0	0
DD3.2	0	0	1	1	1
DD2.4	1	1	0	1	0

Примечание. И — импульсный сигнал при работающем двигателе. При неработающем двигателе, но включенном зажигании, здесь уровень 1.

чие его от блока 50.3761 состоит в том, что он реализует порог отключения 1900 об/мин, а порог включения равен 1700 об/мин.

Поскольку в блоке по схеме на рис. 3.37 порог отключения не используется при установке его вместо блока 501.3761, R_6 (определяющий верхний порог включения) должен иметь сопротивление примерно 240 кОм, а сопротивление R_{11} (задающего выдержку времени 1 с) следует, наоборот, немножко уменьшить, поскольку снижение частоты вращения с 1700 до 1245 об/мин происходит быстрее, чем с 1900 об/мин.

Что касается блока 502.3761 (или 5023.37610), он предназначен для работы на автомобиле АЗЛК-24412 с карбюратором «Озон». Дело в том, что в последнее время большинство «Москвичей» комплектуют карбюратором «Озон». И если на машинах АЗЛК-2141 (с вазовским двигателем) устанавливают блок управления 25.3761 подключенным по традиционной для «Озона» схеме, а на АЗЛК-21412 (с уфимским двигателем) с «Солексом» по присущей тому карбюратору схеме, то на той же машине АЗЛК-21412, но уже с «Озоном» схема подключения блока экономайзера лишь напоминает ту и другую. Здесь вывод 5 блока (502.3761) постоянно соединен с корпусом машины. Установленный на карбюраторе «Озон» микропереключатель SF_1 напрямую коммутирует обмотку пневмоэлектроклапана.

В блоке 502.3761 порог отключения задан равным 1500 об/мин, а включения — 1245 об/мин, т. е. для «Озона» вопрос о снижении порога включения не стоит. Но у способа его подключения и у самого блока управления есть ряд недостатков.

Так, непосредственная коммутация обмотки клапана Y_1 контактами микропереключателя SF_1 довольно быстро их разрушает. Кроме того, наличие порога отключения не позволяет использовать резерв экономии топлива. Наконец, в этой системе не исключен автоколебательный режим работы двигателя, при котором во время движения на малой скорости происходят неожиданные для водителя рывки. Этих недостатков не будет, если заменить блок 502.3761 использовать с «Озоном» самодельный блок по схеме на рис. 3.38, а подключить его по схеме, изображенной на рис. 3.39. В этом варианте микропереключатель подключен к выводу 5 блока.

Блок управления выполнен на базе упрощенного блока управления, описанного выше, но собран всего на одной микросхеме, причем без применения триггеров. При нажатой педали акселератора контакты микропереключателя замкнуты, поэтому на выходе $DD_{1.2}$ низкий уровень. Значит, на выходе $DD_{1.4}$ имеется высокий уровень, VT_2 , VT_3 открыты, электромагнитный клапан также открыт. На выходе $DD_{1.3}$ — высокий уровень, а на выходе $DD_{1.1}$ действует импульсный сигнал.

Отпускание педали акселератора размыкает контакты микропереключателя и на выходе $DD_{1.2}$ нижний уровень сменяется высоким. Если частота вращения коленчатого вала 1245 об/мин ($T = 24,1$ с), то на выходе элемента $DD_{1.3}$ остается высокий уровень. Значит, на выходе элемента $DD_{1.4}$ появляется низкий уровень, транзисторы VT_2 , VT_3 и клапан закрываются. После уменьшения частоты вращения до 1245 об/мин на выходе элемента $DD_{1.3}$ появится низкий уровень, а на выходе $DD_{1.4}$ — высокий. При этом клапан снова откроется.

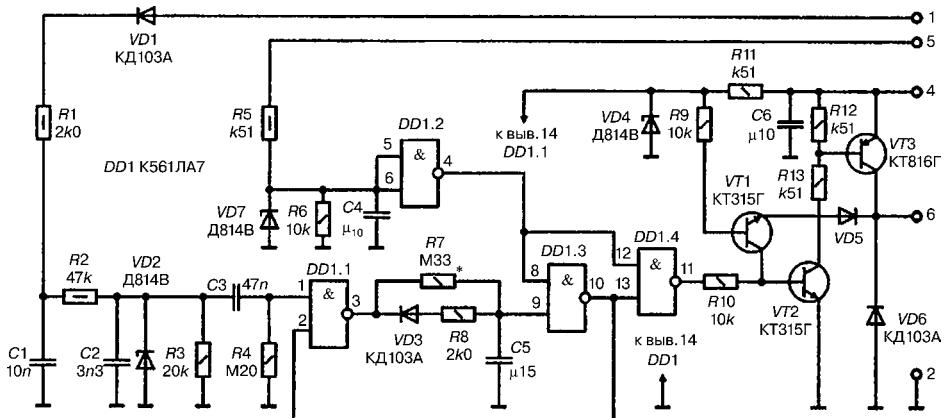


Рис. 3.38
Принципиальная схема унифицированного блока управления экономайзером

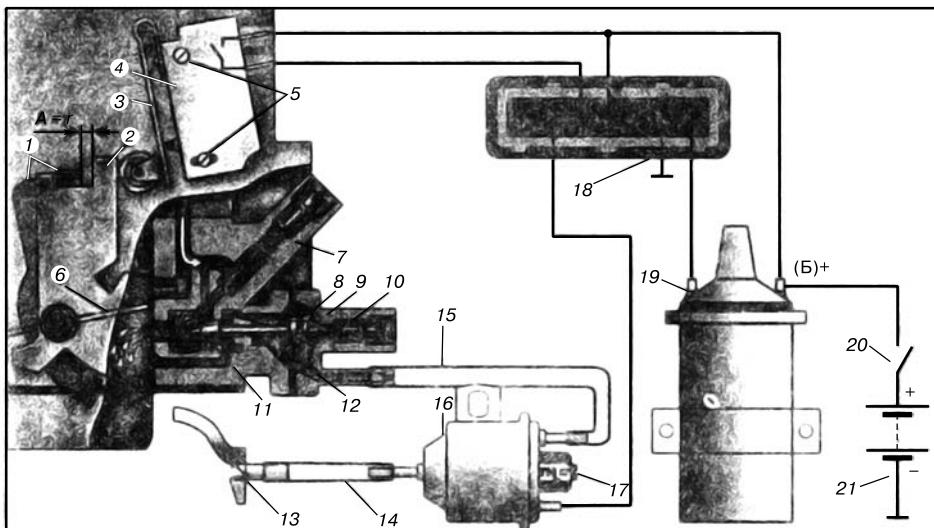


Рис. 3.39
Схема подключения унифицированного блока управления:

1, 2 — рычаги управления привода дроссельной заслонки; 3 — рычажок МП; 4 — микропереключатель (МП); 5 — винты крепления МП; 6 — дроссельная заслонка; 7 — винт качества; 8 — вакуумная полость экономайзера; 9 — крышка клапана экономайзера; 10 — винт количества; 11 — игла клапана экономайзера; 12 — диафрагма; 13 — выпускной коллектор; 14 — трубка, соединяющая выпускной коллектор с пневмоэлектроклапаном; 15 — трубка, соединяющая пневмоэлектроклапан с экономайзером; 16 — пневмоэлектроклапан (второй вывод клапана подключен к «массе», на рисунке не показан); 17 — разгрузочный вывод; 18 — ЭБУ; 19 — катушка зажигания; 20 — выключатель зажигания; 21 — аккумуляторная батарея.

После доработки блока (провод от микропереключателя *SF1* к выводу 5 блока вводится отдельно, минуя разъем) не только повысится экономия горючего, но и увеличится срок службы микропереключателя. Кроме этого, такой типичный дефект механизма карбюратора «Озон», как западание тол-

кателя его микропереключателя, теперь не приведет к появлению рывков машины вследствие автоколебаний. В заключение следует подчеркнуть, что включить так (рис. 3.39) стандартный блок 502.3761 нельзя — он выйдет из строя.

Для того чтобы существенно уменьшить влияние импульсных помех на работу электронного блока экономайзера, необходимо цепь питания каждой микросхемы шунтировать керамическим конденсатором емкостью $47\text{n} - 68\text{n}$, монтируемым на плате вблизи микросхемы (лучше всего конденсатор припаивать непосредственно к выводам питания микросхемы). Кроме того, для той же цели стабилитрон цепи питания микросхем в каждом блоке следует шунтировать двумя конденсаторами: оксидным емкостью $20\mu\text{F}$ на напряжение 25 В и керамическим емкостью $47\text{n} + \mu\text{10}$.

Указанные меры целесообразно применять во всех устройствах, особенно цифровых, предназначенных для работы на автомобиле.

3.3.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМАЙЗЕРОМ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ХОЛОСТОГО ХОДА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

САУ ЭПХХ автомобилей ЗИЛ, оснащенных карбюратором К90, состоит из электронного блока управления 1102.3761, электромагнитных клапанов 3202.3747 и неподвижного контакта 130-3761.026-1. Блок управления находится в кабине автомобиля ЗИЛ-130 на правой боковой стенке. Два электромагнитных клапана (по числу камер карбюратора) установлены так, что при их включении каналы системы холостого хода карбюратора полностью перекрываются и подача топлива по ним прекращается. Неподвижный контакт является упором для винта регулирования частоты вращения холостого хода двигателя.

САУ ЭПХХ перекрывает подачу топлива, если одновременно выполняются три условия:

- частота вращения коленчатого вала двигателя выше некоторого выбранного значения (1000 об/мин для ЗИЛ-130);
- педаль подачи полностью отпущена (дроссельная заслонка закрыта и контакты датчика-винта SF1 замкнуты);
- температура жидкости в системе охлаждения двигателя выше 65°C .

Последнее условие связано с тем, что при подогреве двигателя на режиме холостого хода частота вращения его вала повышается и без корректировки по температурному фактору может быть воспринята САУ ЭПХХ как частота вращения принудительного холостого хода.

На рис. 3.40 представлена схема, а в табл. 3.8 — порядок работы САУ ЭПХХ автомобилей ЗИЛ.

Через вывод X5 штекерного разъема на блок управления САУ ЭПХХ поступают импульсы от вывода K коммутатора TK102 контактно-транзисторной системы зажигания. Частота этих импульсов пропорциональна частоте вращения вала двигателя (для восьмицилиндрового двигателя ЗИЛ-130 частота

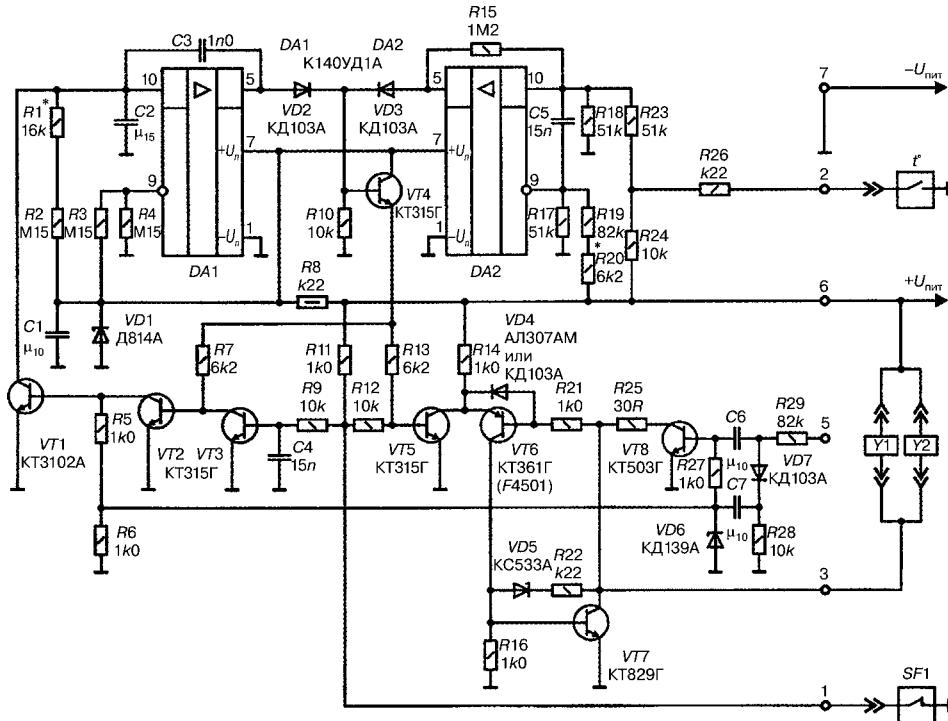


Рис. 3.40
Принципиальная схема блока управления ЭПХХ 1102.3734

Таблица 3.8

Порядок работы САУ ЭПХХ автомобилей ЗИЛ

Режим работы двигателя	Относительная частота вращения КВ	Положение дроссельной заслонки	Состояние электромагнитного клапана	Положение контактов датчика-винта	Подача топлива
Холостой ход	Пониженная	Закрыта	Выключены	Замкнуты	Есть
Нагрузочный	Повышенная	Открыта	Выключены	Разомкнуты	Есть
ПХХ	Повышенная	Закрыта	Включены	Замкнуты	Нет

вращения превышает частоту следования импульсов системы зажигания в 15 раз). Таким образом, датчиком частоты вращения вала двигателя для САУ ЭПХХ является система зажигания.

Датчик температуры охлаждающей жидкости — ТК100В. Его выходное напряжение подается в блок управления через вывод 2 штекерного разъема X1. Цепь неподвижного контакта SF1 замкнута, когда дроссельная заслонка полностью закрыта. При всех других положениях заслонки эта цепь разомкнута.

Импульс напряжения положительной полярности от системы зажигания через диод VD7 и резисторы R29, R25 заряжает конденсатор C7. При прохождении тока заряда через переход «база — эмиттер» транзистора VT3 он открывается на короткое время. При этом полностью разряжается кон-

денсатор C_2 . Вследствие этого включается в работу схема преобразования частоты следования импульсов (частоты вращения вала двигателя) в напряжение. Схема содержит VT_1, C_2, R_1, R_2 . После того как VT_3 закроется, C_5 заряжается через R_1, R_2 . Напряжение на конденсаторе тем больше, чем больше пауза между импульсами системы зажигания, так как при следующем импульсе VT_1 вновь откроется и C_2 разрядится. Следовательно, напряжение на C_2 обратно пропорционально частоте вращения вала двигателя и чем меньше эта частота, тем больше напряжение.

Напряжение с C_2 поступает на неинвертирующий вход 10 компаратора DA_1 , собранного на микросхеме К140УД1А. На инвертирующий вход 9 компаратора подается опорное напряжение с двигателя R_3, R_4 , примерно равное половине напряжения питания компаратора, которое поддерживается постоянным с помощью стабилитрона VD_1 . Напряжение на выходе 5 компаратора появляется только тогда, когда меняющийся во времени сигнал на неинвертирующем входе будет равен или больше опорного напряжения на инвертирующем входе. При появлении сигнала на выходе компаратора открывается VT_4 . Таким образом, если частота вращения вала двигателя такова, что напряжение на входе 10 компаратора меньше опорного напряжения, VT_4 закрыт.

При понижении частоты вращения вала двигателя ниже порогового значения уровень напряжения на C_2 превышает уровень опорного напряжения и на время этого превышения компаратор DA_1 открывает VT_4 .

Настройка схемы на выбранное пороговое значение частоты вращения коленчатого вала проводится подбором R_1 и R_{20} .

Второй компаратор DA_2 собран также на микросхеме К140УД1А. На его инвертирующий вход 9 подается опорное напряжение, а на неинвертирующий вход 10 — напряжение от датчика температуры охлаждающей жидкости. Если температура воды ниже, чем 65°C , то напряжение на входе 10 DA_2 будет выше, чем на входе 9, и выходное напряжение этого компаратора переведет VT_4 в открытное состояние. На VT_4 реализована схема «ИЛИ» (он открыт, если на цепь его базы поступает напряжение от DA_1 или DA_2 или от обоих компараторов одновременно). VT_4 открыт, если частота вращения вала двигателя ниже пороговой и двигатель находится в холодном состоянии. Так он препятствует включению электромагнитных клапанов, перекрывающих подачу топлива по каналам системы холостого хода. Ток его эмиттера через R_{13} проходит в цепь базы VT_5 , и тот открывается. Открытый VT_5 шунтирует силовой усилитель на VT_6, VT_7 , управляющий электронными клапанами.

VT_4 блокируется VT_2 и VT_1 . При прохождении тока его эмиттера через R_7 VT_2 открывается, шунтируя переход «база — эмиттер» VT_3 , который закрывается, а DA_1 становится невосприимчивым к импульсам системы зажигания.

Самоблокирование VT_4 возможно лишь в том случае, если цепь неподвижного контакта SF_1 замкнута. В случае размыкания цепи неподвижного контакта VT_4 разблокируется, поскольку через R_{11} переход «база — эмиттер» VT_3 смещается в прямом направлении, транзистор открывается, закрывает VT_2 и VT_1 вновь воспринимает импульсы системы зажигания.

Разомкнутая цепь неподвижного контакта препятствует включению электромагнитных клапанов, так как при этом $VT5$ открыт током, протекающим в цепи его базы через $R11$, $R12$. При закрытии дроссельной заслонки цепь неподвижного контакта $SF1$ замыкается и через вывод 1 штекерного разъема и $R12$ база $VT5$ соединяется с массой и транзистор закрывается.

Если частота вращения коленчатого вала выше порогового значения, двигатель прогрет, дроссельная заслонка и $VT4$, $VT5$ закрыты, то САУ ЭПХХ готова перекрыть подачу топлива в карбюраторе. При этом первый же импульс от системы зажигания током $C6$ открывает $VT8$, что, в свою очередь, приводит к открытию $VT6$, $VT7$, подключению обмоток электромагнитных клапанов к цепи питания через переход «эмиттер — коллектор» $VT7$ и прекращению подачи топлива.

После открытия $VT7$ ток базы $VT6$ протекает через его переход «эмиттер — коллектор», в результате чего осуществляется самоблокировка схемы включения электромагнитных клапанов и они остаются во включенном состоянии, даже если транзистор $VT8$ закрылся после прекращения протекания тока через $C6$. Открытие дроссельной заслонки или уменьшение частоты вращения вала двигателя приводит к открытию $VT5$, вследствие чего $VT6$, $VT7$ запираются, электромагнитные клапаны отключаются и восстанавливается питание двигателя по каналам системы холостого хода карбюратора.

Схема электронного блока САУ ЭПХХ хорошо защищена от возможных аварийных режимов и опасных для нее внешних воздействий. $VD1$ совместно с $R8$, $C1$ не только стабилизирует напряжение питания, но и защищает компараторы от перенапряжений и импульсов напряжения обратной полярности. $C5$ и $R24$ защищают вход $DA2$ соответственно от импульсов перенапряжения и от аварийного режима, возникающего при обрыве провода, идущего от вывода 2 к датчику температуры.

$VD4$ защищает переход «база — эмиттер» $VT6$ от обратного напряжения, $VD5$ с $R22$ — $VT6$ и $VT7$ от импульсов перенапряжений, $C7$ и $R28$ защищают от ложных срабатываний при «дребезге» контактов прерывателя системы зажигания, $VD6$ — от перенапряжений по цепи системы зажигания. При возникновении короткого замыкания в цепи нагрузки переход «база — эмиттер» $VT6$ шунтируется, $VT6$ и $VT7$ закрываются и обеспечивается защита $VT7$ от перегрузки.

Для охлаждения силового $VT7$ к нему прижата пластина — теплоотвод (радиатор). Плата расположена внутри пластмассового корпуса (рис. 3.41) в специальных направляющих пазах.

Электромагнитный клапан неразборный и герметично закрыт, что препятствует попаданию влаги во внутреннюю полость. При подаче напряжения на катушку электромагнита якорь притягивается к упору и запорное кольцо перекрывает доступ топлива по каналу системы холостого хода карбюратора. Обратный ход якоря осуществляется пружиной.

В стандартном исполнении экономайзера автомобиля ЗИЛ-130 в блоке управления предусмотрено устройство, запрещающее срабатывание экономайзера до тех пор, пока температура охлаждающей жидкости не повысится

до 65°C. Для получения информации о температуре использован сигнал датчика указателя температуры ТМ100В, который соединен с блоком через контакт 2 разъема XI. Введение температурного запрета было выполнено из опасения, что холодный двигатель при работе с экономайзером может часто самопроизвольно останавливаться.

Однако многолетняя практика эксплуатации легковых автомобилей с экономайзером, не имеющим никакой информации о температуре двигателя, показывает, что такая предосторожность напрасна. Более того, при длительных спусках автомобиля в условиях зимнего высокогорья температура охлаждающей жидкости может упасть ниже 65°C. Тогда экономайзер перестанет действовать, что является большим недостатком, не говоря уже о том, что возрастает расход топлива и выброс вредных веществ, при этом ухудшаются тормозные свойства двигателя, крайне важные как раз на спуске.

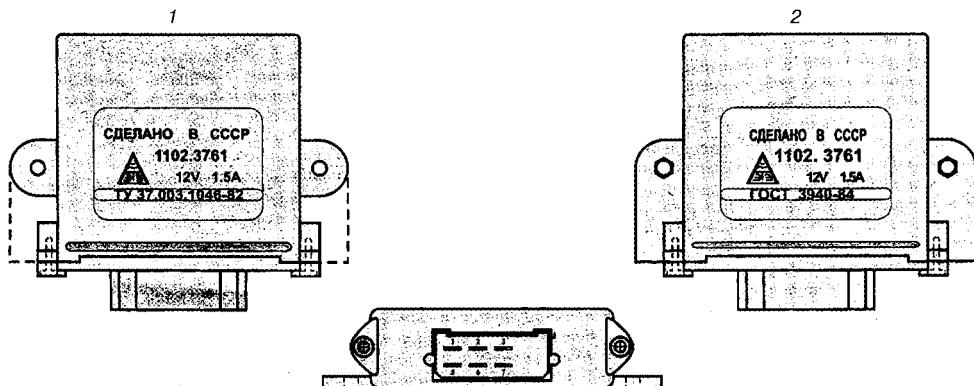


Рис. 3.41
Внешний вид блока управления ЭПХХ 1102.3761:
1 — ТУ 37.003.1046-82; 2 — ГОСТ 3940-84.

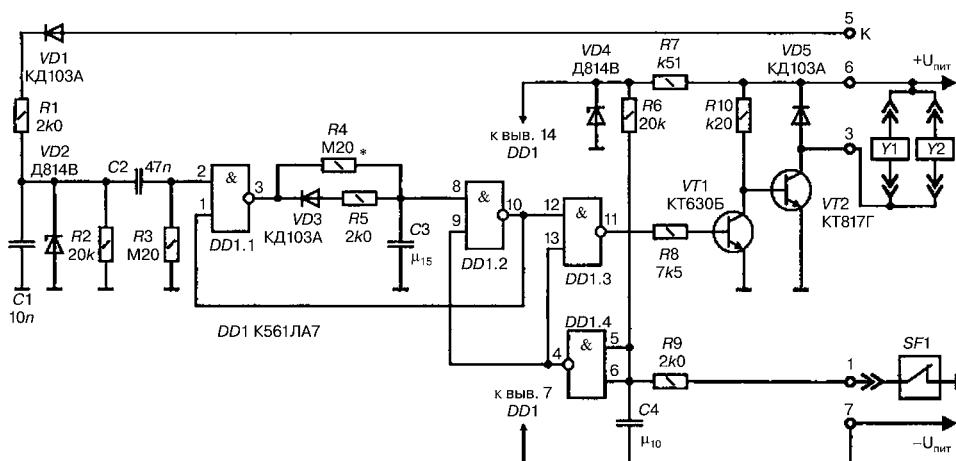


Рис. 3.42
Принципиальная схема блока управления ЭПХХ — упрощенный аналог 1102.3761

По этим причинам, а также потому что датчик TM100B имеет большую погрешность (реально 40–75°C), использование температурного запрета нецелесообразно. Без устройства температурного запрета схема аналога блока 1102.3761 значительно проще (см. рис. 3.42).

Ключевой усилитель блока имеет отличия. Он выполнен на транзисторах VT1, VT2. При работе двигателя в нагружочном режиме и на холостом ходу на выходе элемента DD1.3 присутствует высокий уровень. При этом VT1 открыт, а VT2 закрыт, электромагниты клапанов экономайзера обесточены и топливо поступает к двигателю. Когда же двигатель переходит из режима принудительного холостого хода, на выходе элемента DD1.3 появляется низкий уровень, VT1 закрывается, а VT2 открывается и клапаны останавливают поступление топлива. Такое состояние экономайзера продолжается до тех пор, пока частота вращения коленчатого вала не снизится до порогового значения (у блока 1102.3761 это 1000 об/мин) либо пока вновь не будет нажата педаль акселератора.

Защиты от замыкания выхода блока на корпус автомобиля не требуется, поскольку это не приводит к аварийной перегрузке выходного транзистора, а лишь включаются электромагнитные клапаны Y1 и Y2.

4

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЖИГАНИЕМ

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

ВДВС для зажигания горючей смеси могут использоваться искровые, накальные, плазменные и сверхвысокочастотные преобразователи электрической энергии в тепловую. Наибольшее распространение получили системы высоковольтного искрового зажигания с помощью разрядников, называемых свечами. Системы искрового зажигания предназначены для принудительного воспламенения рабочей смеси в камере сгорания бензиновых и газовых двигателей с внутренним смесеобразованием, работающих по 2- и 4-тактному циклам с числом цилиндров от 2 до 12, суммарный рабочий объем которых составляет 0,6–8 л.

Воспламенение горючей смеси происходит в результате высоковольтного разряда между электродами свечи. Энергия тока разряда преобразуется в тепловую и световую энергию. Процесс воспламенения занимает небольшой промежуток времени в цикле работы ДВС и носит импульсный характер. Поэтому канал обратной связи КЭТ_{0C} является импульсной цепью.

В энергетических преобразователях ДВС химические, термодинамические и механодинамические процессы имеют разную скорость протекания в зависимости от условий и режима работы ДВС и носят явно выраженный стохастический характер. Это приводит к фазовым изменениям и задержкам в отборе выходных параметров в широких пределах. Изменение параметров рабочей среды в цилиндрах ДВС вызывает изменение условий искрообразования. В канале обратной связи КЭТ_{0C} все эти изменения должны компенсироваться, что достигается путем формирования высоковольтного импульса зажигания с необходимыми амплитудными и фазовыми соотношениями.

Для формирования высоковольтного импульса из низковольтного напряжения бортовой сети питания при совре-

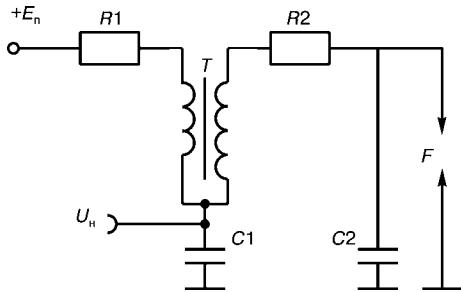


Рис. 4.1
Схема формирования
высоковольтного импульса

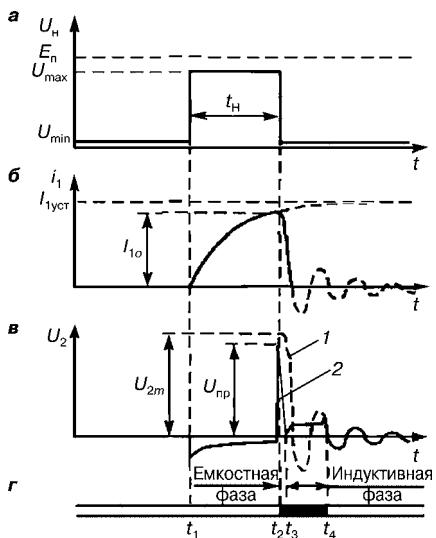


Рис. 4.2
Временные диаграммы формирования
импульса зажигания:

а — импульс накопления; б — ток в первичной обмотке; в — напряжение на вторичной обмотке; г — фазы искрового разряда.

Трансформатор не может работать в цепях постоянного тока и передает во вторичную цепь только изменяющиеся величины напряжения и тока. Только при изменении магнитного потока, создаваемого током первичной цепи, происходит трансформация электрической энергии из первичной цепи во вторичную цепь. Напряжение во вторичной цепи в первую очередь зависит от коэффициента трансформации, а также величины и скорости изменения тока в первичной цепи.

Как известно, индуктивные электрические цепи (катушки индуктивности) обладают свойством саморегулирования. Это явление направлено на поддержание постоянства тока в индуктивной электрической цепи и препятствует его изменению. Поступление на первичную обмотку трансформатора

менном уровне развития техники в качестве высоковольтного преобразователя (ВП) используется исключительно высоковольтный импульсный трансформатор (ВИТ) («катушка зажигания»), работающий в режиме ударного возбуждения (рис. 4.1).

Начальный электрический импульс синхронизации U_h поступает в цепь канала обратной связи от механоэлектрического преобразователя (МЭП), преобразующего угловое положение коленчатого вала α в фазу φ электрического импульсного сигнала с амплитудой $U_h(\alpha \rightarrow \varphi)$. Сформированный по длительности и амплитуде импульс напряжения U_h подается на первичную обмотку трансформатора T .

Один конец первичной и вторичной обмоток трансформатора через конденсатор $C1$ подключается к «массе», другой конец первичной обмотки через резистор $R1$ подключается к батарее, а вторичной обмотки — к конденсатору $C2$ и разряднику F (свеча зажигания).

Для снижения потребления электроэнергии и уменьшения тепловых потерь в элементах системы, особенно в ВИТ, в системе зажигания используется положительный импульс (рис. 4.2а) с передним фронтом, нарастающим от низкого уровня напряжения к высокому уровню, и спадающим задним фронтом (резом импульса).

положительного импульса с амплитудой, близкой к значению напряжения источника питания в момент времени t_1 , эквивалентно подключению первичной обмотки трансформатора к источнику питания. К этому моменту все реактивные элементы цепи обратной связи должны разрядиться. Переходный процесс в цепи постоянного тока обусловит нарастание тока в обмотке по экспоненциальному закону, характеризующему инерционные процессы. Ток в первичной цепи трансформатора будет нарастать от нулевого значения до установившегося $I_{1\text{уст}}$ (рис. 4.2б). Установившееся значение тока определяется параметрами первичной обмотки (индуктивностью, активным сопротивлением и емкостью). При этом в начальный момент времени, когда скорость изменения тока максимальна, ток невелик. Это препятствует оптимальной передаче напряжения во вторичную обмотку. В установившемся режиме через первичную обмотку протекает постоянный ток и вторичное напряжение становится равным нулю. В реактивных элементах (катушек индуктивности, конденсаторе и паразитной емкости первичной обмотки) накапливается электромагнитная энергия. При окончании импульса в момент времени t_2 (по заднему фронту) происходит отключение первичной обмотки ВИТ от источника питания. Ток в первичной цепи начинает резко уменьшаться от установившегося значения к нулевому. Происходит ударное возбуждение связанных контуров, состоящих из катушек индуктивности и эквивалентных емкостей. Возникает затухающий колебательный процесс, обусловленный обменом энергии между магнитным полем трансформатора и электрическим полем в емкостях. Частота колебаний определяется резонансной частотой контура, а декремент затухания — потерями. Процессы саморегулирования будут уменьшать скорость изменения тока, но большой ток и высокая скорость его изменения позволяют получить значительно более высокое вторичное напряжение. По этой причине также целесообразно использовать положительный импульс в цепи зажигания. Тогда напряжение вторичной обмотки будет определяться значением тока в первичной обмотке в момент среза импульса. Если длительность импульса t_n накопления электромагнитной энергии в реактивных элементах цепи зажигания превышает необходимое время для получения оптимального тока, электрическая энергия тока, протекающего по первичной обмотке, идет на тепловые потери. Это приводит к перегреву трансформатора. Для защиты трансформатора от перегрева регулируют длительность и амплитуду импульса.

Если напряжение U_{2m} достигает напряжения пробоя $U_{\text{пр}}$, то процесс формирования высокого напряжения на вторичной обмотке трансформатора отражается зависимостью, представленной графиком 1 (рис. 4.2в). Если максимальное значение вторичного напряжения U_{2m} превышает напряжение пробоя искрового промежутка свечи, то возникает необходимая для зажигания горючей смеси искра и процесс развивается по графику 2 (рис. 4.2в).

После пробоя искрового промежутка вторичное напряжение резко уменьшается (рис. 4.2г). В первый момент образования искры — он характеризуется непродолжительностью и большой силой тока — разряжаются емкостные реактивные элементы (емкостная составляющая). Затем наступает второй момент — разряд индуктивностей, во время которого происходит

выделение энергии, накопленной в магнитном поле трансформатора. Индуктивная составляющая отличается значительной продолжительностью, небольшой силой тока и большим количеством электричества. Именно значение индуктивной составляющей определяет бесперебойное искрообразование.

В системах зажигания в момент искрового разряда электрическая энергия потребляется не от генераторной установки (генератора или аккумуляторной батареи), а от реактивных элементов цепи, которые выполняют функции промежуточного накопителя энергии. В зависимости от преобладания индуктивной или емкостной составляющей реактивной цепи различают системы зажигания с накоплением энергии в индуктивности или в емкости.

В качестве накопителя энергии в основном используют индуктивность ВИТ, в котором всегда присутствует паразитная емкость. В ряде случаев емкостную составляющую усиливают путем включения специального конденсатора. В таких системах катушка зажигания выполняет исключительно функции трансформатора.

Схемы систем зажигания с индуктивным и емкостным накопителем приведены на рис. 4.3.

Как видно из схем, в случае индуктивного накопления (рис. 4.3 α) в первичной цепи трансформатора имеется последовательный резонансный контур с преобладанием индуктивной составляющей, а в случае емкостного накопления — параллельный LC -контур с преобладанием емкостной составляющей (рис. 4.3 β).

Резонансная частота, добротность и декремент затухания контуров должны оказывать существенное влияние на параметры импульса зажигания.

Накопить достаточное количество энергии для воспламенения горючей смеси при низковольтном источнике в конденсаторе приемлемых размеров невозможно. Поэтому в систему зажигания (рис. 4.3 β) включается высоковольтный преобразователь напряжения. Это приводит к усложнению системы в целом. Так как величину индуктивной фазы разряда нельзя уменьшать, рассматриваемые системы не дают ощутимых преимуществ и на автомобилях практически не применяются.

В настоящее время в системах зажигания начинают широко внедряться высоковольтные ключи (микросхемы), выполненные по технологии IGBT. Применение этих ключей в системах зажигания с накоплением энергии в

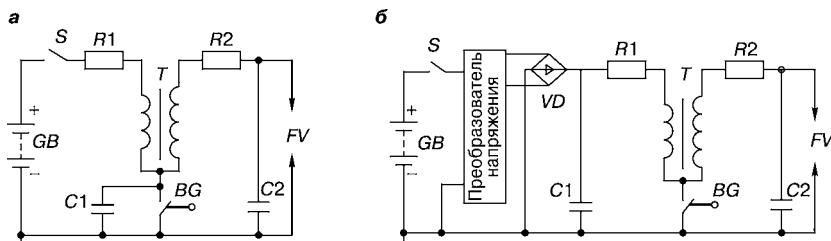


Рис. 4.3
Системы зажигания:

α — с накоплением энергии в индуктивности; β — с накоплением энергии в емкости.

емкости может существенно уменьшить недостатки таких систем. В ряде случаев IGBT ключи позволяют повысить надежность работы указанных систем и превзойти по своим техническим характеристикам транзисторные системы зажигания с накоплением энергии в индуктивности.

Формирование фазы импульса зажигания. В момент зажигания топливно-воздушной смеси в камере сгорания образуется искра между электродами свечи. Изменяя его, можно устанавливать требуемый баланс фаз. Установка момента зажигания — это возможность воспламенения смеси при определенном положении поршня относительно верхней мертвой точки (ВМТ) маркерного цилиндра. Зажигание до ВМТ называется опережающим, в ВМТ — нулевым, после ВМТ — запаздывающим. Момент зажигания измеряется в угловых градусах по коленчатому валу (рис. 4.4а) со знаком «+» (опережение) или со знаком «-» (запаздывание).

За начало отсчета угла зажигания принимается импульс с датчика. Вторым сигналом является механическая метка на узлах системы зажигания и двигателя. Это обуславливает использование стробоскопических методов измерения угла зажигания.

На автомобиле установку зажигания в механических системах зажигания необходимо начинать с проверки так называемых трех соответствий. В момент зажигания должны находиться относительно друг друга в соответствующем положении коленчатый, распределительный валы и валик распределителя. Основным ориентиром является ВМТ в первом цилиндре.

Фаза или положение импульса U_n на временной оси определяет момент зажигания (рис. 4.4б). Для согласования положений коленчатого и распределительного валов используются различные метки (рис. 4.4в).

Момент зажигания, как и энергия искры, оказывает существенное влияние на мощностные, экономические и экологические показатели ДВС. Для каждого режима работы двигателя определяется оптимальный момент зажигания, обеспечивающий наилучшие его показатели. Раннее и позднее зажигания, которые характеризуются углом опережения ϕ_{03} и запаздывания ϕ_{33} зажигания, существенно влияют на термодинамические процессы в двигателе. При слишком раннем зажигании сгорание смеси происходит целиком в такте сжатия при возрастании давления. Поршень испытывает сильный встречный удар, тормозящий его движение.

Внешним признаком раннего зажигания является снижение мощности и появление детонации. При позднем зажигании после прохода поршня через ВМТ смесь сгорает в такте расширения и может догорать в выпускном трубопроводе.

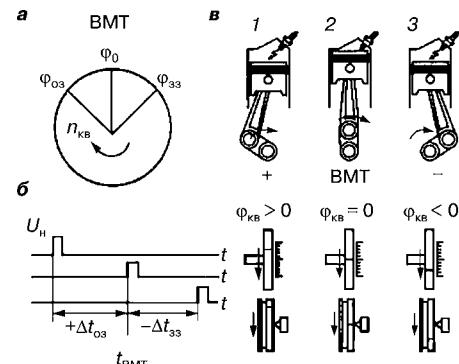


Рис. 4.4
Определение момента зажигания:
а — по угловому положению коленчатого вала; б — по положению импульса зажигания на временной оси для определенной частоты вращения вала; в — установка момента зажигания: 1 — до ВМТ; 2 — ВМТ; 3 — после ВМТ; «+» — опережение зажигания; «-» — запаздывание зажигания.

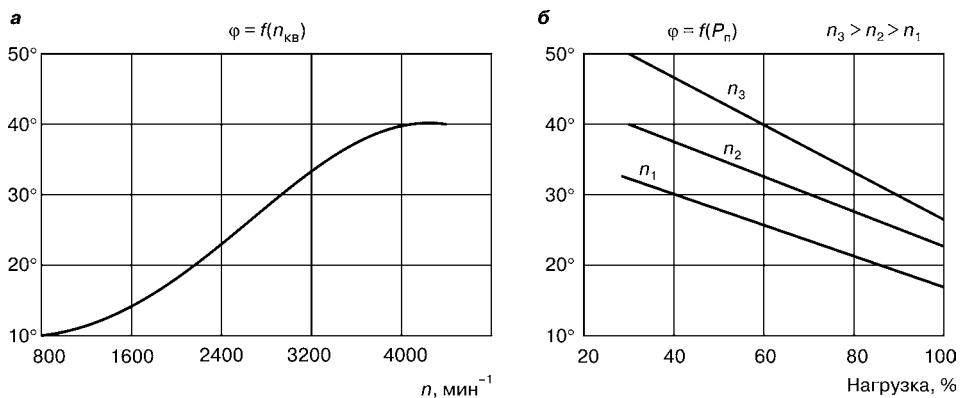


Рис. 4.5

Зависимость оптимального угла опережения зажигания:

a — от частоты вращения коленчатого вала; *б* — от нагрузки при разных частотах вращения коленчатого вала.

При этом двигатель перегревается из-за увеличения отдачи теплоты в охлаждающую жидкость и мощность его понижается.

Оптимально процесс сгорания протекает при определенном угле опережения зажигания. Максимум мощности двигатель развивает, когда наибольшее давление в цилиндре создается после ВМТ при повороте коленчатого вала на угол 10–15°. Оптимальный угол опережения зажигания определяется временем, которое отводится на сгорание смеси, и скоростью горения. В свою очередь, время, отводимое на сгорание, зависит от частоты вращения коленчатого вала, а скорость горения определяется составом горючей смеси и степенью сжатия.

Фаза импульса U_n создается формирователем фазы импульса зажигания ФФ_{из}. Фаза импульса U_n или угол опережения зажигания, при котором двигатель развивает максимальную мощность, зависит от многих параметров. В современных системах зажигания при определении угла зажигания учитывают несколько параметров ($P_1 - P_n$): частоту вращения коленчатого вала, нагрузку двигателя, температуру охлаждающей жидкости, температуру наружного воздуха, состав отработанных газов, скорость изменения положения дроссельной заслонки (разгон или торможение) и наличие детонации (рис. 4.5).

Основными из них являются частота вращения вала двигателя, нагрузка и состав топлива. Так, например, с повышением частоты вращения вала двигателя необходимо увеличивать и угол опережения зажигания, для того чтобы смесь успевала полностью сгореть. С ростом нагрузки (увеличением открытия дроссельной заслонки) возрастает наполнение цилиндров и давление в конце сжатия, в результате чего процесс сгорания смеси ускоряется. Поэтому необходимо уменьшать угол опережения зажигания.

Если используется топливо с более низким октановым числом, то возникает детонация, связанная с чрезмерно быстрым сгоранием смеси. Чтобы устраниТЬ это явление, необходимо уменьшить угол опережения зажигания.

Обобщенная функциональная схема системы управления зажиганием. На практике ДВС строятся как многоцилиндровые агрегаты, при этом блок цилиндров включает несколько цилиндров с поршнем (ЭП ДВС). Поэтому в общем случае необходимо иметь число каналов обратной связи, равное числу цилиндров. Число каналов можно сократить, если применить способы уплотнения и разделения каналов связи, широко используемые в системах передачи данных.

В системе зажигания ДВС находит применение как пространственное, так и временное разделение каналов передачи информации. Пространственное разделение каналов практически соответствует использованию отдельных каналов передачи информации. При временном разделении каналов на передающей стороне сигналы каждого канала коммутируются на общий канал связи, а на приемной стороне распределяются снова по соответствующим абонентам. Для функционирования такой системы передачи данных требуется синхронная работа входного и выходного распределителей (коммутаторов) сигналов.

Обобщенная структурно-функциональная схема системы управления зажиганием многоцилиндрового ДВС приведена на рис. 4.6.

В ДВС на передающей стороне (блок цилиндров) импульсы силы $B1-B4$ каждого цилиндра, создаваемые в разные моменты времени, объединяются в общем механическом канале передачи энергии и информации — коленчатом вале. Информация о моментах времени поступления импульсов силы передается угловым положением коленчатого вала. На выходе коленчатого или распределительного вала устанавливается механоэлектрический информационный преобразователь, преобразующий угловое положение вала (механическую величину) во временной интервал, определяемый положением электрических импульсов синхронизации на шкале времени. Так как МЭП преобразует неэлектрическую величину (угловое положение вала G_a) в электрическую (U_h), этот преобразователь в технической литературе часто называют датчиком углового положения коленчатого вала. На практике

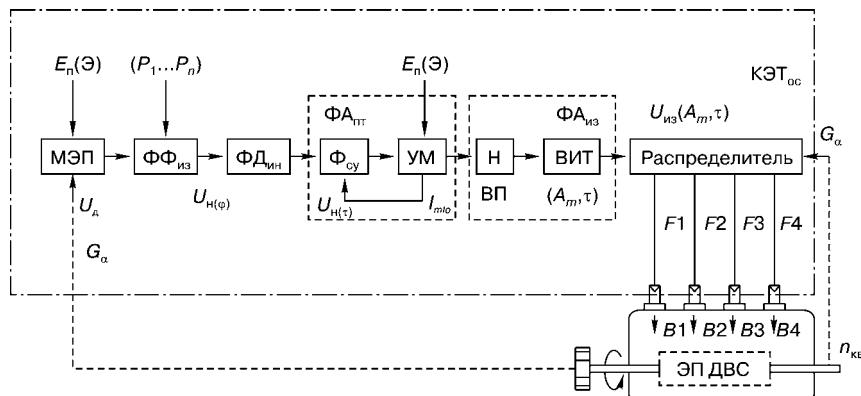


Рис. 4.6
Схема системы управления зажиганием многоцилиндрового ДВС

импульсы синхронизации (импульсы датчика U_d) соответствуют положению поршня маркерного цилиндра (как правило, первого) в ВМТ. Эти импульсы по общему каналу обратной связи, в который входят преобразователи, обеспечивающие амплитудные и фазовые соотношения сигналов обратной связи, поступают на выходной распределитель. Распределитель осуществляет разделение каналов и выдает команды воздействия (импульсы зажигания) на разрядники ($F1-F4$) соответствующих цилиндров, где осуществляется преобразование электрической энергии в тепловую энергию и далее в механическую.

Система управления зажиганием осуществляет следующие функции:

- формирование синхронизирующих импульсов в моменты времени, соответствующие заданным положениям коленчатого вала ДВС;
- управление энергией электрических импульсов путем формирования их амплитуды и длительности;
- формирование высоковольтных электрических импульсов для создания электрического разряда в цилиндре в моменты зажигания;
- управление фазой импульсов в широком диапазоне основных параметров ДВС (частоты вращения вала, нагрузки и т. д.);
- распределение импульсов по цилиндрам двигателя.

Система управления зажиганием ДВС предназначается для передачи информации о моменте зажигания смеси в цилиндрах по общему каналу связи, формирования импульсов высокого напряжения соответствующей амплитуды, длительности и фазы, вызывающих вспышку рабочей смеси в камере сгорания, синхронизации работы входного и выходного распределителей и распределения импульсов зажигания в заданные моменты по цилиндрам.

Для бесперебойного воспламенения горючей смеси в цилиндрах при высоком давлении требуется создание на электродах свечи высокого напряжения с достаточной энергией.

Энергия импульса зажигания определяется его амплитудой и длительностью. Широкий диапазон частот вращения коленчатого вала современных ДВС требует ограничения длительности процессов воспламенения (уменьшения длительности импульса зажигания). От энергии искры в момент зажигания рабочей смеси в значительной степени зависят экономичность и устойчивость работы ДВС, а также токсичность отработанных газов.

Требуемое фазовое положение импульса зажигания обеспечивается формирователем фазы $\Phi\Phi_{из}$ импульса зажигания. С выхода формирователя фазы получают импульс накопления $U_{n(\phi)}$, задний фронт которого соответствует моменту искрообразования. Для получения импульса зажигания $U_{из(A_m, \tau)}$ требуемой энергии необходимо формировать длительность и амплитуду (вольт-секундную площадь) U_n , определяющую время накопления энергии. Это осуществляется формирователем длительности $\Phi\Delta_{из} U_{n(\tau)}$ и формирователями амплитуды I_{mI_0} первичного тока $\Phi A_{пт}$. Формирователи $\Phi A_{пт}$ строятся как системы автоматического регулирования, причем для управления током выходного транзистора могут использоваться формирователи сигнала управления Φ_{cy} по амплитуде (АИМ) или длительности (ШИМ). Для усиления U_n по мощности в системах зажигания используется усили-

тель мощности (УМ), который обеспечивает требуемый ток в первичной обмотке ВИТ.

Параметры импульса зажигания $U_{из(A_m, \tau)}$ определяются также коэффициентом передачи УМ и выбором параметров ВП (формирователя амплитуды импульса зажигания ФА_{из}). На параметры импульса зажигания оказывает влияние конструктивное выполнение элементов, особенно высоковольтных, и системы зажигания в целом.

Требования к ДВС по энергетическим, экономическим и экологическим показателям в различных условиях эксплуатации обусловливают требования к системам зажигания как составной части подсистемы управления ДВС. Система зажигания должна обеспечивать:

- формирование необходимых амплитудных соотношений в контуре обратной связи;
- формирование необходимых фазных соотношений в контуре обратной связи во всех режимах работы ДВС;
- надежность работы в условиях высоких температур и механических воздействий при заданном сроке работы без обслуживания.

Исходя из рассмотренных требований, систему зажигания можно характеризовать следующими параметрами:

- амплитудой высокого напряжения U_{2m} , развивающегося высоковольтным трансформатором зажигания во вторичной цепи в пусковом и рабочем режимах и приложенного к свечам, при заданном зазоре между электродами свечи: $U_{2m} = 8\text{--}30$ кВ при $b = 0,5\text{--}0,9$ мм;
- энергией W_p и продолжительностью индуктивной составляющей искрового разряда τ_p : $W_p = 30\text{--}100$ мДж, $\tau_p = 1,5\text{--}2,0$ мс;
- фазой импульса зажигания φ_3 (углом зажигания α_3 и диапазоном изменения угла зажигания $\Delta\alpha_3$): $\alpha_3 = 0\text{--}60^\circ$ с погрешностью $\gamma = \pm 1,5^\circ$ при $n_{кв} = 30\text{--}6000$ мин⁻¹; $\Delta P_k = 0\text{--}630$ мм рт. ст. (0 $\text{--}84$ кПа);
- функцией $\varphi_{03} = f(P_1 - P_n)$ формирования угла зажигания, где $P_1 - P_n$ — параметры, с учетом которых должно определяться значение фазы импульса зажигания (момента зажигания). Для современных систем зажигания $\varphi_{03} = f(n_{кв}, \Delta P_k, T_{ож}, E_p, Q_t)$, где $n_{кв}$ — частота вращения коленчатого вала, ΔP_k — разрежение у дроссельной заслонки (нагрузка ДВС); $T_{ож}$ — температура охлаждающей жидкости; E_p — напряжение питания; Q_t — состав топлива.

Устойчивость работы ДВС во всех режимах определяется коэффициентом запаса по высокому напряжению k_3 и диапазоном изменения угла опережения зажигания $\Delta\alpha_3$ (запасом по фазе импульса зажигания). Коэффициент запаса по высокому напряжению определяется выражением $k_3 = U_{2m}/U_{пр}$, где U_{2m} — высокое напряжение, развиваемое системой зажигания; $U_{пр}$ — пробивное напряжение между электродами свечи, установленной на двигателе. Для современных систем принимают $k_3 > 1,5$.

Влияние нагара свечей на искрообразование значительно снижается с увеличением скорости нарастания вторичного напряжения dU_{2m}/dt . В современных системах $dU_{2m}/dt = 200\text{--}700$ В/мкс.

Пробивным напряжением называется напряжение, при котором происходит пробой искрового промежутка свечи. Энергия импульса зажигания,

его длительность и зазор в свече относятся к параметрам искрового разряда. На $U_{\text{пр}}$ влияют следующие факторы:

- давление и температура в камере сгорания в момент электрического пробоя искрового промежутка (зазора) свечи;
- искровой промежуток свечи;
- форма и температура электродов свечи, а также скорость нарастания вторичного напряжения на электродах;
- состав рабочей смеси в камере сгорания;
- скорость движения рабочей смеси в зоне искрового промежутка свечи;
- материал электродов свечи.

Пробивное напряжение свечи подчиняется зависимости

$$U_{\text{пр}} = f(p\delta/T),$$

где p — давление в камере сгорания в момент пробоя; δ — искровой промежуток свечи; T — абсолютная температура среды в камере сгорания в момент пробоя.

Кроме перечисленных требований на систему зажигания распространяются нормы, устанавливаемые государственными, отраслевыми стандартами, стандартами предприятий (ГОСТ, ОСТ, СП), техническими условиями и руководящими техническими материалами заводов-изготовителей (ТУ, РТМ). В них наряду с техническими требованиями отражаются требования по климатическим, механическим и другим условиям работы системы зажигания. Так, система зажигания должна надежно работать при вибрационных и ударных нагрузках, возникающих на двигателе и автомобиле, в широком диапазоне температур — от -40 до $+125^{\circ}\text{C}$ (от 233 до 313 К).

Система зажигания не должна создавать электромагнитные помехи электронным и радиотехническим системам автомобиля. Ресурс работы элементов системы зажигания должен быть не ниже ресурса двигателя. Система зажигания не требует обслуживания в течение всего установленного ресурса работы. К конструкции систем зажигания предъявляются требования по габаритам и массе. К системе зажигания как объекту товарного производства предъявляются также требования по технологичности и стоимости.

4.2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЖИГАНИЕМ

Системы зажигания неразрывно связаны с двигателем внутреннего сгорания. Поэтому их классификация должна быть увязана с основными понятиями, относящимися к ДВС.

Двигатель внутреннего сгорания — система автоматического управления тепловой машиной дискретного действия, представляющая собой генератор механической энергии или энергетический преобразователь химической энергии топлива в тепловую и далее в механическую энергию, передаваемую потребителю в виде непрерывного механического процесса.

ДВС с искровым зажиганием — система автоматического управления тепловой машиной дискретного действия с дополнительным термоэлектрическим каналом обратной связи.

Тепловая машина ДВС — камера сгорания с устройством воспламенения горючей смеси (свечами), являющаяся объектом управления, и тепломеханический преобразователь тепловой энергии в механическую энергию — цилиндропоршневая группа устройств.

Система управления зажиганием — объект управления ДВС с тепломеханическим преобразователем, механический преобразователь возвратно-поступательного движения во вращательное (шатунно-кривошипный механизм с коленчатым валом), преобразующий дискретные процессы в непрерывные с термоэлектрическим каналом обратной связи (управляющей подсистемой зажигания).

Система зажигания — канал термоэлектрической обратной связи (управляющая подсистема зажигания).

Для выявления классификационных признаков систем зажигания можно выделить их основные функциональные устройства:

- механоэлектрический преобразователь (датчик);
- формирователь фазы импульса зажигания (формирователь момента зажигания);
- формирователь амплитудных соотношений, в котором можно выделить формирователь амплитуды тока отключения (низковольтный формирователь амплитуды) с усилителем мощности и формирователь амплитуды высоковольтного напряжения (высоковольтный импульсный трансформатор);
- элемент накопления энергии;
- распределитель, осуществляющий разделение каналов по абонентам (цилиндрам);
- свечи зажигания.

По виду используемой энергии или по виду элементной базы системы зажигания можно подразделить на электромеханические, электрические (электронные), смешанные.

В основу существующей классификации систем зажигания положено несколько признаков:

- тип датчика положения коленчатого вала (контактный, бесконтактный);
- тип усилителя мощности (транзисторный);
- тип формирователя длительности импульса накопления (без формирования, с формированием постоянной длительности);
- тип элементов, используемых для формирования алгоритма обработки информации, получаемой с датчиков для формирования фазы импульса зажигания (анalogовые, частотно-импульсные, цифровые, микропроцессорные).

При использовании формирователя постоянной длительности импульса накопления (с нормированием) в структуру системы зажигания вводится формирователь постоянной скважности импульсов (ФПС).

В название систем зажигания вносится только несколько признаков, отражающих, по мнению разработчика, сущность системы.

Электромеханические системы зажигания для будущих разработок представляют только исторический и теоретический интерес. Смешанные системы уже не используются в новых разработках, уступая место электронным системам зажигания.

Исходя из классификационных признаков элементов системы можно составить полную классификацию всех возможных систем зажигания.

Датчики. В современных электронных системах зажигания используются датчики, которые по принципу преобразования входной величины подразделяются на:

- индукционные — на основе однопараметрического физического эффекта Фарадея;
- магнитоэлектрические — на основе двухпараметрического физического эффекта Холла.

По числу градаций выходного сигнала датчики системы зажигания подразделяются на:

- n -позиционные, где n — число цилиндров ДВС;
- многопозиционные, в которых число позиций выходного сигнала определяется числом зубьев на роторе датчика.

Многопозиционные датчики могут иметь специальную метку на роторе, например пропуск выступа, для формирования импульса «Начало отсчета» (опорного сигнала), или дополняться специальным датчиком «Начало отсчета», которые конструктивно могут быть совмещены или выполняться раздельно.

По существу здесь идет разделение систем по точности преобразования углового положения коленчатого вала (в первом случае — число градаций преобразуемой величины равно числу цилиндров, а во втором — число градаций выбирается исходя из требуемой точности и обеспечивается числом выступов на маховике).

С другой стороны, без формирования электрического опорного сигнала (сигнала положения поршня первого цилиндра в ВМТ) невозможно произвести измерение угла опережения зажигания (УОЗ) электрическими средствами измерения. В системах с одним импульсом на цилиндр измерение угла опережения зажигания производится по механическим меткам стробоскопическим методом. В системе с двумя датчиками измерение УОЗ производится электронными приборами.

Формирователи фазы импульса зажигания. Эти элементы можно подразделить на основании следующих показателей:

- числа учитываемых параметров при обработке (числа переменных в функции преобразования) на двух-, трех- и многопараметрические;
- алгоритма обработки функциональной зависимости на ФФ с обработкой методом счета и ФФ с обработкой методом считывания;
- вида функции преобразования на ФФ с вычислением полных значений фазы в зависимости от каждого параметра и ФФ с вычислением поправки (приращения), суммируемой с начальной фазой;
- используемой элементной базы — устройства на аналоговых элементах (операционных усилителях); на дискретно-кодовых (логических) элемен-

такс, подразделяющиеся на частотно-временные (устройства с единичными кодами) и дискретные автоматы, которые могут использовать аппаратный или программный способ управления. В свою очередь, дискретные автоматы разделяют на одноактные (комбинационные) и многотактные устройства (устройства с памятью); дискретные автоматы с микропрограммным управлением (микропроцессорные системы).

Формирователи амплитудных соотношений (низковольтные):

- длительности импульса накопления, которые подразделяются по виду модуляции (сигнала) на аналоговые, частотно-временные и кодовые (цифровые);
- амплитуды (ФА) первичного тока, подразделяющиеся на ФА без САР на основе электронных реле (двухпозиционные), ФА с САР с управлением по амплитуде (КАИМ) — трехпозиционные импульсные системы регулирования, ФА с САР с управлением по длительности (ШИМ).

Усилители мощности. Здесь выделяют транзисторные, тиристорные, на основе микросхем, микросхемы с высоковольтными ключами на основе IGBT-транзисторов (смарт-приборы).

Накопители:

- емкостные, которые требуют использования преобразователя низкого напряжения в высокое;
- индуктивные.

Высоковольтные формирователи амплитуды импульса зажигания:

- высоковольтные импульсные трансформаторы (катушки зажигания);
- высоковольтные пьезоэлектрические преобразователи.

Распределители. В системах зажигания применяются распределители с временным и пространственным разделением каналов:

- одноступенчатые (высоковольтные и низковольтные);
- двухступенчатые (первая ступень — низковольтная, вторая — высоковольтная).

Далее системы зажигания рассматриваются в хронологическом порядке их применения на автомобилях.

4.2.1. ДАТЧИКИ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

Датчики углового положения вала. Система зажигания является импульсной, поскольку в ней используются импульсные элементы. Одним из таких элементов является механоэлектрический преобразователь (МЭП), использующийся в контуре обратной связи системы зажигания для преобразования углового положения коленчатого вала или валов, кинематически с ним связанных, в электрические импульсы с амплитудой U_d , который также выполняет функции импульса синхронизации U_c . Информация об угловом положении вала α на выходе МЭП определяется времененным положением t_c на оси времени U_c относительно момента времени t_0 прохождения поршнем первого цилиндра через ВМТ. Это соответствует сдвигу по времени $\Delta t = t_0 - t_c$ или фазе U_c , равной φ_c . Таким образом, в МЭП непрерывный механический параметр (α) преобразуется в электрическую величину — напряжение

с использованием времяимпульсной модуляции (ВИМ) или фазоимпульсной модуляции (ФИМ).

Связь между частотно-временными фазовыми параметрами периодических гармонических и импульсных сигналов находят из соотношений:

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} \text{ или } \omega = \frac{2\pi n}{60} = 2\pi f; \quad f = \frac{1}{T}; \quad \varphi = \frac{2\pi \Delta t}{T},$$

где ω — круговая частота (угловая скорость) гармонического процесса, рад/с; n — частота вращения, мин⁻¹; f — частота следования импульсов, сформированных из гармонического процесса, с⁻¹ или Гц; T — период следования импульсов, с; φ — фаза импульса на оси времени, рад или угловые градусы.

Так как процесс преобразования осуществляется периодически, U_c на выходе МЭП появляются с частотой следования, пропорциональной частоте вращения коленчатого вала. Точное положение U_c на временной оси t или его фаза относительно начала отсчета определяется свойствами преобразователя, преобразующего угловое положение вала в напряжение импульса.

Амплитуда U_c информации не несет. Поэтому целесообразно использовать двухпозиционные преобразователи (элементы) для построения системы зажигания, в которых высокому уровню напряжения присваивается значение $U_c^B = 1$, а низкому — $U_c^H = 0$.

Так как МЭП преобразует механическую величину в электрическую, по аналогии с датчиками системы управления ДВС он в технической литературе называется датчиком. Датчик в общем случае — это конструктивная совокупность информационных преобразователей, предназначенных для преобразования параметров объекта управления или контроля в выходную физическую величину, как правило, электрическую, для последующей передачи. Датчик — самый ответственный элемент любой системы. Он является предметом изучения измерительной техники, а точнее — ее раздела «Преобразование неэлектрических величин». Разработка датчиков для подвижных объектов — сложная научно-техническая задача.

Используемые в системах управления зажиганием датчики могут классифицироваться по различным признакам:

- входной величине: давление, температура, расход и т. д.;
- выходной величине:
 - генераторные — выходная величина — напряжение или ток, параметрические:
 - выходная величина — сопротивление — резистивные датчики,
 - выходная величина — емкость — емкостные датчики,
 - выходная величина — индуктивность — индуктивные датчики;
 - наличию сигнала на выходе в статическом состоянии: статические (возможен сигнал на выходе в статическом состоянии), динамические (нет сигнала на выходе в статическом состоянии);
 - форме выходной электрической величины: аналоговые (непрерывные), дискретные (импульсные), квантованные (цифровые). При двух уровнях выходного сигнала (два кванта) датчики называются двухпозиционными или релейными;

- наличию электромеханического контактного преобразователя: контактные, бесконтактные;
- виду используемой в преобразователях энергии: механические, электрические (электронные), электромагнитные и т. д.;
- используемому в преобразователях физическому явлению: на основе закона Фарадея (индукционные), на основе эффекта Холла (магнитоэлектрические).

К основным показателям (параметрам) датчиков, определяющим их потребительские качества, можно отнести:

- функцию преобразования (зависимость выходной величины от входной);
- коэффициент передачи k ;
- чувствительность;
- погрешность преобразования γ ;
- быстродействие;
- род энергии и форму выходного сигнала;
- вид модуляции;
- диапазон частот, в котором осуществляется преобразование;
- наличие сигнала на выходе в статическом состоянии;
- затраты (на производство, эксплуатацию и ремонт);
- надежность;
- срок службы.

На разных стадиях развития автомобилестроения наибольшее распространение получили магнитоэлектрические преобразователи (датчики): контактные (резистивные) (рис. 4.7 a), генераторные (индукционные) (рис. 4.7 b) и магнитоэлектрические на основе эффекта Холла (рис. 4.7 c).

Основными деталями электромеханического датчика являются кулачок, связанный с распределительным валом, и контактный преобразователь, через толкатель связанный с кулачком (на рис. 4.7 a , b цифрами в окружности обозначены номера выступов, соответствующие номеру цилиндра). Входной величиной такого датчика является положение распределительного вала α . Кулачок выполняет функции запоминающего устройства с дискретной выборкой. Он имеет выступы, в форму которых записывается

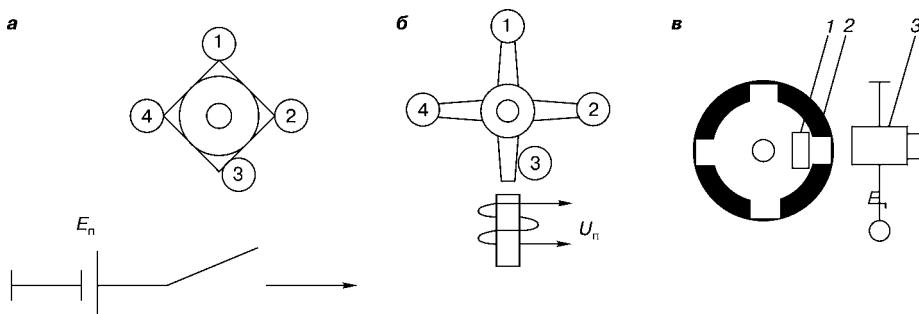


Рис. 4.7
Механоэлектрические преобразователи (датчики):

a — контактный; b — индукционный; c — магнитоэлектрический: 1 — магнит; 2 — экран; 3 — преобразователь Холла.

функция преобразования углового перемещения распределительного вала α в линейное перемещение толкателя $l = f(\alpha)$. Для четырехцилиндрового ДВС в дискретные моменты времени t_1-t_4 , соответствующие угловым положениям $\alpha_1-\alpha_4$, толкатель воздействует на контакты электромеханического преобразователя. Одновременно кулачок выполняет и функции импульсного элемента, преобразуя непрерывную величину в дискретную. Выходной сигнал контактного преобразователя имеет два значения: $R_1 = 0$, $R_2 = \infty$, т. е. такой преобразователь преобразует непрерывную величину в квантованно-дискретную, в данном случае в двухпозиционную R_2^1 , представленную одноразрядным двоичным кодом. При подаче напряжения на контакты и их замыкании формируется импульс напряжения, амплитуда которого определяется напряжением источника питания, а длительность — кулачковым преобразователем. Кулачок является формирователем длительности импульса (времени включения контактов). В форме кулачка записывается закон формирования длительности импульса и паузы.

Частота вращения вала является возмущающим воздействием для такого датчика. Длительность импульса на его выходе зависит от частоты вращения вала. Это затрудняет формирование высоковольтного импульса.

Электромагнитные датчики имеют на выходе электрический сигнал в виде напряжения различной формы. Длительность и амплитуда выходного сигнала таких датчиков также зависят от частоты вращения вала. Для использования сигнала с датчика в последующих устройствах требуется применять согласующие преобразователи, которые предназначаются для преобразования выходного сигнала в прямоугольные импульсы. Это осуществляется путем усиления до требуемого размера выходной величины нужной полярности и ограничения выбросов напряжения любой полярности. Амплитуда импульса в индукционных преобразователях изменяется в широких пределах с изменением частоты вращения коленвала, что приводит к нежелательному смещению фазы импульса зажигания и неустойчивой работе на низких частотах (рис. 4.8).

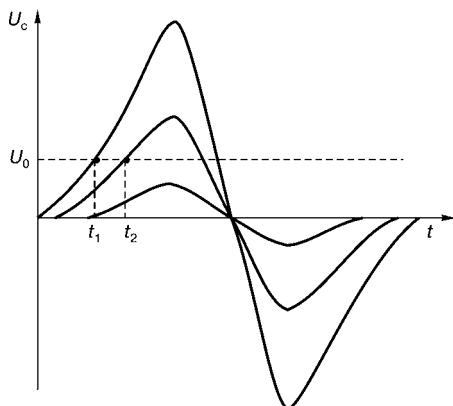


Рис. 4.8
Сигнал на выходе
индукционного датчика

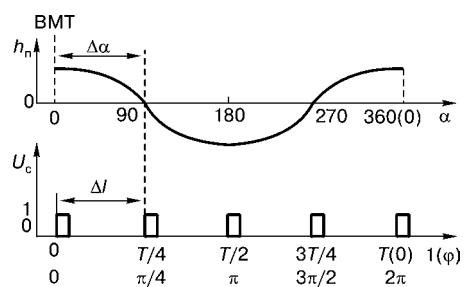


Рис. 4.9
Диаграммы сигналов:
 h_n — перемещение поршня.

Выходная величина датчика системы зажигания — U_c — не является непрерывной. Она разбивается (квантуется) на несколько значений, равных числу цилиндров двигателя, и определяется в моменты времени, соответствующие определенным положениям поршней. В этом случае функция преобразования датчика может быть представлена в виде $\varphi_i = N_1^i \Delta\alpha$ для четырехцилиндрового двигателя $i = 1-4$, шаг квантования $\Delta\alpha = 360^\circ/4$ — единичный (унитарный) код с числом разрядов, равным i . N_1^i определяется числом импульсов U_{ci} за один оборот вала. На временной оси шаг квантования определяется выражением $\Delta t = T/4$ или $\Delta t = (T/360)\Delta\alpha$, где T — время одного оборота распределительного вала. Диаграммы сигналов в прямоугольных координатах показаны на рис. 4.9.

В традиционных системах зажигания импульсы U_{ci} с фазой φ_c используются для синхронизации работы цилиндров ДВС. Однако из-за больших погрешностей формирования угла опережения зажигания и погрешности синхронности (асинхронизма) сейчас такие датчики не применяются. Их заменили индукционные преобразователи углового положения коленчатого вала в электрические сигналы с большим числом квантов (импульсов), обеспечивающих требуемую точность формирования угла опережения зажигания α_{oz} . Для привязки полученных сигналов к положению ВМТ первого цилиндра используется дополнительный преобразователь D_{ho} (датчик начала отсчета). Он выдает импульс в момент прохождения поршня через ВМТ, который используется для синхронизации всех устройств системы управления. Схемы индукционных датчиков представлены на рис. 4.10.

Индукционные датчики имеют различную конструкцию. Как видно из рис. 4.11, они содержат ротор с выступами (зубцами), а также статорную обмотку, в которой индуцируются импульсы напряжения.

В таком датчике угловое положение вала определяется по выступу на роторе. При вращении вала происходит изменение величины зазора, что

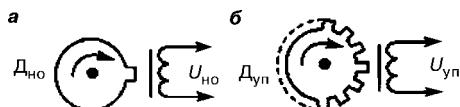


Рис. 4.10
Индукционные датчики:
а — начала отсчета (синхронизации) D_{ho} ;
б — углового положения вала D_{up} .

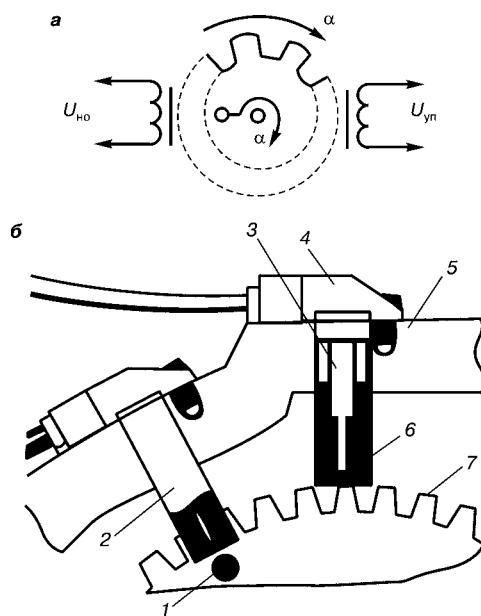


Рис. 4.11
Конструктивные схемы индукционных датчиков углового положения вала и начала отсчета:

а — конструктивно совмещенные; б — электрически совмещенные; 1 — магнитная вставка; 2 — датчик начала отсчета; 3 — постоянный магнит; 4 — датчик углового положения; 5 — картер маховика; 6 — обмотка; 7 — зубчатый венец маховика.

приводит к изменению магнитного потока и индуцированию импульса напряжения на выходе обмотки датчика. Индукционный датчик осуществляет преобразование $\alpha(\text{AM})M \rightarrow \varphi(\text{КФИМ})E$ (механической величины M — углового положения вала α с непрерывной амплитудной модуляцией АМ в фазу φ электрического импульса E с кодовой фазоимпульсной модуляцией КФИМ). Конструктивно ротор с выступами размещают на ободе маховика двигателя. Для формирования синхроимпульса (начала отсчета) применяют дополнительную ферромагнитную вставку или удлиненную впадину.

Датчик начала отсчета $D_{\text{но}}$ служит для синхронизации работы всех устройств системы зажигания с положением коленчатого вала двигателя и представляет собой индукционный датчик, вырабатывающий электрический сигнал в момент прохождения над ним дополнительного металлического штифта или удлиненной впадины, что соответствует ВМТ в конце такта сжатия первого или четвертого цилиндра.

Датчик углового положения $D_{\text{уп}}$ служит для преобразования углового положения коленчатого вала двигателя в электрические импульсы и представляет собой аналогичный $D_{\text{но}}$ индукционный датчик, генерирующий переменное напряжение, по форме близкое к синусоидальному, при прохождении над ним зубчатого венца маховика. Частота и амплитуда переменного напряжения на выходе $D_{\text{уп}}$ пропорциональны частоте вращения коленчатого двигателя. Сигнал с выхода датчика можно представить выражением $U_{\text{дуп}} = U_m \sin(\omega t)$, откуда $U_m = kn_{\text{кв}}$; $\omega = 2\pi f_{\text{дуп}}$; $f_{\text{дуп}} = (z_m/60)n_{\text{кв}}$, где U_m — амплитуда выходного напряжения, В; ω — угловая частота выходного напряжения, c^{-1} ; $f_{\text{дуп}}$ — частота выходного напряжения, Гц; z_m — число зубьев маховика (для ВАЗ-21083 $z_m = 128$); $n_{\text{кв}}$ — частота вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} ; k — коэффициент пропорциональности.

Датчики параметров двигателя. Кроме датчиков углового положения коленчатого вала, которые непосредственно входят в контур обратной связи, в системах зажигания используется информация с датчиков параметров ДВС. Эти датчики служат для преобразования неэлектрических показателей ДВС в электрические величины. В системах управления бензиновым двигателем устанавливаются свыше 10 датчиков, которые могут быть объединены в следующие группы: расходомеры воздуха, датчики температуры, угла поворота дроссельной заслонки, детонации и т. д.

Расходомеры воздуха D_p . Различают четыре типа расходомеров:

- напорные заслонки, воспринимающие напор воздуха;
- датчики перепада давлений во впускном трубопроводе;
- датчик Кармана, преобразующий воздушный ламинарный поток в турбулентный с определенным числом вихрей, следующих с резонансной частотой;
- термоанемометрические датчики, реагирующие на изменение сопротивления платиновой проволоки в воздушном потоке.

В датчике первого типа воздух, проходящий в двигатель через воздушный фильтр, изменяет угол поворота подвижной заслонки, на которую кроме скоростного напора воздуха воздействует пружина задатчика, определяю-

щая заданное значение параметра. Ось заслонки связана с движком потенциометра, он преобразует угол поворота в сопротивление. Расход воздуха преобразуется в соотношение напряжений плеч потенциометра.

В датчике второго типа преобразователем разности давлений служит кремниевая мембрана, на поверхности которой сформирован тензорезистор, включенный в мостовую цепь. Ток через мостовую цепь изменяется под действием деформаций, вызванных изменением разности давлений. Этот ток усиливается, и вводится температурная компенсация.

В датчике третьего типа имеется генератор воздушных вихрей — завихритель, установленный в поток потребляемого двигателем воздуха. Число вихрей почти пропорционально расходу всасываемого воздуха. Датчик считает их, преобразуя затем в выходные электрические сигналы (импульсы) с резонансной частотой.

Основой конструкции датчика четвертого типа является помещенная в поток поступающего в двигатель воздуха платиновая проволока, нагреваемая электрическим током и охлаждаемая воздухом. Сопротивление проволоки изменяется с изменением температуры пропорционально скорости воздушного потока. Сила тока, протекающего через проволоку, функционально связана с количеством поступающего в двигатель воздуха.

Датчики температуры D_t **охлаждающей жидкости и воздуха** представляют собой полупроводниковый элемент, сопротивление которого изменяется почти линейно под воздействием температуры.

Датчики положения дроссельной заслонки $D_{ппз}$. Широко используются два типа: двухпозиционные контактные и потенциометрические. В датчике первого типа применяется концевой выключатель на микропереключателе, соединенный через механический привод с дроссельной заслонкой. Он замыкается, когда педаль подачи топлива полностью отпущена и дроссельная заслонка закрыта. В датчике второго типа дроссельная заслонка соединяется с движком потенциометра.

Датчики детонации D_d . Наибольшее распространение получили пьезоэлектрические вибрационные датчики. При возникновении детонации в цилиндрах двигателя увеличиваются вибрация и удары. Через корпус двигателя они передаются на чувствительный элемент датчика и воздействуют на пьезоэлемент с соответствующей силой и частотой. На выходе датчика формируется сигнал в виде переменного напряжения.

4.2.2. ФОРМИРОВАТЕЛИ ФАЗЫ ИМПУЛЬСОВ ЗАЖИГАНИЯ

Угол зажигания в современных двигателях должен изменяться в широких пределах в соответствии с режимами работы двигателя при разных условиях эксплуатации. Для формирования угла опережения зажигания используются функциональные автоматические преобразователи и устройства ручной установки — формирователи фазы импульсов зажигания ($\Phi_{из}$).

Угол опережения зажигания $\alpha_{из}$ устанавливается в канале обратной связи, эта операция заключается в изменении фазы $\phi_{из}$ электрического импульса.

Такие устройства называются фазовращателями. В принципе любая электрическая цепь осуществляет изменение фазы сигнала и может быть использована для изменения фазы импульса.

Угол опережения зажигания (фаза импульса зажигания) должен формироваться с учетом ряда параметров и режимов работы ДВС. Это означает, что φ_{03} является функцией многих переменных. Данная зависимость может быть представлена несколькими выражениями:

$$\varphi_{03} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3,$$

где φ_1 — фаза, определяемая начальным (установочным) углом зажигания; φ_2 — фаза, определяемая частотой вращения коленчатого вала; φ_3 —

фаза, определяемая нагрузкой. Устройство формирователя для широко распространенных систем зажигания (рис. 4.12) представляет собой набор элементов задержки $DL1$ – $DL3$, которые включены последовательно, обеспечивая тем самым суммирование фаз сумматором См:

$$\varphi_{03} = \varphi_{\text{нач}} + \Delta\varphi,$$

где $\varphi_{\text{нач}}$ — начальный угол опережения зажигания, определяется по характеристике двигателя и выставляется вручную при установке зажигания. Поправка $\Delta\varphi = f(P_1 - P_n)$ является функцией многих переменных. Переменные $P_1 - P_n$ — параметры ДВС, от которых зависит величина угла опережения зажигания.

Реализация такой функции в технических системах может быть выполнена путем моделирования функциональных зависимостей с помощью аналоговых преобразователей; вычисления с помощью частотно-импульсных арифметических преобразователей методом единичных приращений; определение ее значений по заранее составленным таблицам и хранящимся в запоминающем устройстве методом считывания и вычисления с помощью арифметико-логического устройства микропроцессора в каждом цикле по значениям параметров ДВС.

Формирователи фазы импульса зажигания выполняются в виде механических узлов или электронных устройств. В последних используются аналоговые элементы (операционные усилители) и кодово-импульсные (логические) элементы. На логических элементах строятся частотно-импульсные (частотно-временные) системы зажигания, основу которых составляют таймеры, счетчики и т. д.; кодовые (цифровые) системы зажигания, основу которых составляют логические узлы и элементы, и микропроцессорные системы зажигания, основу которых составляют микропроцессоры.

В формирователях фазы используется жесткое аппаратное, программное и микропрограммное управление. Внедрение микропроцессоров позволило перейти на микропрограммный способ управления с использованием аналого-кодовых преобразователей для преобразования сигналов с датчиков в код

и преобразователей кодов во временной интервал (фазу), определяющий положение выходных импульсных сигналов.

В механических системах вращение фазы осуществляется с помощью преобразователей частоты вращения вала и нагрузки на двигатель в перемещение, а затем — в угол поворота элементов МЭП. В современных системах вводится сдвиг фазы по величине и частоте детонации, зависящей от качества топлива (октан-корректор), по составу отработанных газов и т. д. Но только электронные системы зажигания с микропрограммным управлением реализуют законы управления, близкие к оптимальным, выполняя требования к двигателям по токсичности отработанных газов и минимальному расходу топлива.

Классифицируют формирователи фазы импульсов зажигания по следующим основным признакам:

- виду функции для вычисления фазы

$$\phi_{\text{оз}} = \sum_{i=1}^n \phi_i, \quad (4.1)$$

где $i = 1, 2, 3$;

$$\phi_{\text{оз}} = \phi_{\text{нач}} + \Delta\phi, \quad (4.2)$$

где $\Delta\phi = f(P_1 - P_n) (i = 1, 2, 3)$;

- способу вычислений кода фазы импульса зажигания: метод счета единичными приращениями и полными значениями, метод считывания;
- виду используемой энергии: механические, электрические (электронные);
- виду модуляции или элементной базе: амплитудные (анalogовые), частотно-импульсные, кодовые (цифровые);
- способу управления: аппаратные с жесткой программой, программируемые, микропрограммные (микропроцессорные).

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

Рассмотрим основные соотношения между параметрами гармонического сигнала. Если гармоническое колебание задано уравнением $a = A_m \cos[\psi(t)]$, где $\psi(t)$ — некоторая функция времени, то мгновенным значением частоты является величина $\omega(t) = d\psi(t)/dt$. Если $\psi(t) = \omega t + \phi_0$, то $\omega(t) = \omega = \text{const}$, причем ω связана с частотой f и периодом колебаний T соотношением $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$. Полная фаза колебаний находится из выражения

$$\psi(t) = \int_0^t \omega dt.$$

Если перейти к импульсным сигналам, т. е. сформировать импульсы, совпадающие с положительной полуволной колебаний или с моментом перехода сигнала через нуль при возрастании или убывании сигнала, то такой дискретный сигнал не позволяет точно находить мгновенное значение параметров. В этом случае можно определять только целое число полных периодов изменения фазы за временной интервал:

$$T_0 = \frac{1}{F_0}; \quad N_f = \frac{\Psi}{2\pi} = \int_0^{T_0} f(t) dt.$$

Если $f = \text{const}$, то

$$N_f = \text{int} \frac{f}{F_0} = \text{int}[T_0 f], \quad (4.3)$$

где int — операция выделения целой части числа.

Период колебаний можно найти путем сравнения полного периода изменения фазы колебаний с целым числом полных периодов изменения фазы вспомогательного опорного сигнала, частота которого известна — $f_0 = 1/t_0$:

$$N_T = \int_0^T f_0 dt = \text{int}[f_0 T] = \text{int}\left[\frac{T}{t_0}\right]. \quad (4.4)$$

Так как до прихода следующего импульса никакой информации получено быть не может (поскольку сигнал дискретный), время, равное периоду, является минимально возможным для снятия информации при частотно-импульсных видах модуляции. Дискретизация частотных сигналов обуславливает возникновение погрешности усреднения при изменении преобразуемой частоты за время преобразования, которое в предельном значении не может быть меньше одного периода следования сигнала. При преобразовании непрерывных параметров с помощью частотных преобразователей встает вопрос об интерполяции значений параметра между дискретными точками с целью снижения погрешностей. Эти погрешности обусловлены изменением во времени преобразуемого параметра и называются динамическими. К основным статическим погрешностям преобразования частотных сигналов относятся погрешность квантования, нестабильность выходной величины меры и погрешность формирования импульсного сигнала.

Погрешность квантования по уровню во многом определяется граничными частотами элементной базы, используемой в преобразователях. Современная элементная база обеспечивает пренебрежимо малые погрешности квантования функциональных преобразователей для широкого диапазона преобразуемых частот. Нестабильность генераторов опорных частот можно не учитывать.

Вопросы возникновения статических и динамических погрешностей и зависимость их от времени усреднения для частотно-импульсных и времязимпульсных устройств в настоящее время достаточно подробно рассмотрены в литературе по измерительной технике.

Динамическая погрешность растет с увеличением времени усреднения (времени преобразования), а статическая уменьшается. Существует оптимальное время преобразования, при котором суммарная погрешность минимальна.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗЫ ИМПУЛЬСА ЗАЖИГАНИЯ

До недавнего времени в отечественных автомобилях для формирования фазы импульса зажигания или угла зажигания ($\Phi_{из}$) применялись исключительно механические формирователи. Бурное развитие электроники и особенно дискретно-кодовых элементов кардинально изменило эту ситуацию. Резкое улучшение качества систем зажигания произошло в связи с исполь-

зованием в них дискретно-кодовых (логических) элементов. В таких системах применяются частотно-временные и кодовые виды модуляции, а формирователи фазы и амплитуды импульса зажигания строятся на основе функциональных преобразователей и устройств обработки информации (УОИ). Указанные функциональные преобразователи должны воспроизводить сложные математические зависимости, а УОИ — реализовывать математические операторы как функциональные зависимости нескольких переменных.

В системах зажигания стали учитывать при формировании фазы многие параметры ДВС, что привело к повышению технических показателей автомобиля. Применение цифровых устройств обработки информации позволило использовать сложные многофункциональные зависимости для моделирования рабочих процессов ДВС и применять их для формирования управляющих воздействий. Поэтому основу формирователей фазы импульса зажигания составляют УОИ. В настоящее время практически все системы автоматического и автоматизированного управления автомобилем разрабатываются исключительно с применением микропроцессоров.

Формирователь фазы импульса зажигания ($\Phi_{из}$) содержит функциональные преобразователи «параметр — код» ($\Phi_{ППК}$), а также устройство обработки информации, в качестве которого используются арифметико-логические устройства (АЛУ) различного исполнения, и обратный преобразователь «код — время» ($\Pi_{КВ}$) (преобразователь кода в широтно-импульсно-модулированный сигнал). Назначением $\Phi_{ППК}$ является преобразование сигнала с датчика одного из параметров ДВС в код с заданной функцией преобразования.

В основе всех устройств обработки информации частотно-временных и кодовых сигналов лежит арифметическое устройство — сумматор. Применимые в УОИ систем зажигания алгоритмы вычисления функциональных зависимостей немногочисленны. В АЛУ могут использоваться алгоритмы обработки информации, основанные на методах счета и совпадения (считывания).

В арифметических суммирующих устройствах, реализующих операцию $x_1 + x_2 = z$ и работающих по методу счета, слагаемые могут поступать единичными $\Delta x_1 = \Delta x_2 = 1$ или разрядными приращениями $\Delta x_1 = a_i h^i; \Delta x_2 = b_i h^i$, где $a, b = 0, 1-h^{-1}$ — разрядные коэффициенты кодов слагаемых; h — основание системы счисления кода $i = 0, 1-n$; n — число разрядов кода слагаемых. Для реализации этих алгоритмов применяются суммирующие устройства с последовательным вводом слагаемых. Примером таких АЛУ могут служить счетчики и сдвигающие регистры. Возможно поступление слагаемых параллельными кодами с полными значениями: $\Delta x_1 = x_1, \Delta x_2 = x_2$. Могут применяться и смешанные алгоритмы.

В УОИ, работающих по методу считывания, значения вычисляемой функции хранятся в запоминающем устройстве (ЗУ). Вычисляемая функция задается табличным способом. По значениям аргументов из ЗУ извлекается результат вычислений. Такой метод имеет большое быстродействие и позволяет производить обработку информации по сложным операторам, вычисляя функции нескольких переменных.

Первыми были разработаны формирователи фазы импульса зажигания на основе частотно-временных сигналов. Основу таких УОИ составляют двоичные счетчики и логические элементы. В отечественном автомобилестроении этот этап развития отсутствует, поскольку затратные принципы хозяйствования (планирование объема выпуска продукции по затратам на ее производство и значительные материальные и топливные ресурсы) не требовали снижения затрат и экономии материалов и энергии. Такие системы были разработаны радиолюбителями в ограниченных масштабах. Строились они на основе структурной схемы, изображенной на рис. 4.12, с алгоритмом обработки в соответствии с выражением (4.1). Чаще всего в них переводилась на кодово-логические элементы одна из операций формирования фазы импульса зажигания. Встречаются системы зажигания с формирователем угла опережения зажигания по частоте вращения вала на кодово-логических элементах. Однако самую большую группу этих устройств составляют так называемые октан-корректоры. Подобные системы, как правило, предлагаются при замене контактной системы зажигания и ее модернизации.

Основу системы зажигания с формирователем угла опережения зажигания по частоте вращения коленчатого вала на кодово-логических элементах составляет функциональный преобразователь «частота — код» (ФПЧК) и реверсивный счетчик, выполняющий функции УОИ и ПКВ. Преобразователь «частота — код», выполняющий преобразование частоты вращения вала двигателя в код в соответствии с выражением (4.3), может быть заменен на преобразователь «период — код», выполняющий преобразование периода вращения вала в код в соответствии с выражением (4.4). Если вместо генератора постоянной эталонной частоты применить функциональный генератор частоты с требуемым законом изменения частоты, то можно получить ФПЧК с требуемой функцией преобразования (статической характеристикой). Единичный код, получаемый на выходе ФПЧК, преобразуется в реверсивном счетчике в двоичный позиционный код методом суммирования единичных приращений. Затем код преобразуется во временной интервал путем вычитания из кода, образованного в счетчике, следующих с постоянной частотой единичных приращений (импульсов). С каждым импульсом формируемый интервал увеличивается на период следования вычитающих импульсов.

Принцип построения $\Phi\Phi_{из}$ на кодово-логических элементах, использующих алгоритм обработки в соответствии с выражением (4.2) и частотно-временные сигналы, можно рассмотреть на примере схемы, показанной на рис. 4.13. Устройство содержит схему «ИЛИ» (DD1), регистр RG (DD2), логические схемы И (DD3), счетчик CT2 (DD4) и триггер T (DD5).

Формирователь фазы импульса зажигания работает в два этапа. На первом выполняет функции УОИ, обрабатывая информацию с датчиков ДВС путем вычисления суммарного кода фазы импульса зажигания. На втором устройство — как ПКВ, преобразуя полученный код во временной интервал, определяющий фазу импульса зажигания. В системах, использующих в качестве УОИ счетчики с последовательным приемом единичных кодов слагаемых, эти этапы могут совмещаться во времени.

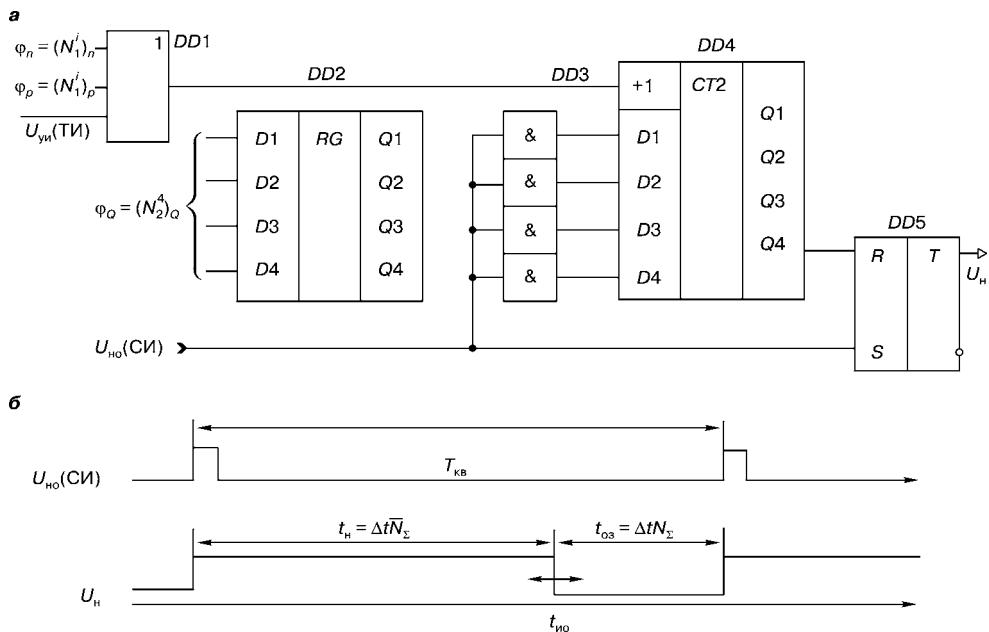


Рис. 4.13
Формирователь фазы импульса зажигания
с последовательным счетом единичных приращений:
а — принципиальная схема; б — диаграммы сигналов.

По импульсу начала отсчета углового положения коленчатого вала $U_{\text{юн}}$ (для электронной схемы — синхронизирующему импульсу СИ) триггер $DD5$ устанавливается в единицу (логическая «1»). В $DD2$ заносится двоичный (в данном случае четырехразрядный) параллельный код, соответствующий установке начального угла опережения зажигания (начальной фазе импульса зажигания), или код, определяющий коррекцию фазы импульса зажигания по октановому числу топлива (функции октан-корректора) $\varphi_Q = (N_2^4)_Q$. По сигналу СИ код из $DD2$ переносится через схемы «И» $DD3$ в $DD4$. Одновременно в счетчик на вход $+1$ начинают поступать коды значений сдвига фазы в зависимости от частоты вращения вала $\varphi_n = (N_1^i)_n$ и сдвига фазы в зависимости от разрежения $\varphi_p = (N_1^i)_p$, полученные в устройствах измерения и функциональных преобразователях. Счетчик осуществляет суммирование кодов единичными приращениями. Функциональные преобразователи реализуют функции $(N_1^i)_n = f(n_{\text{кв}})$ и $(N_1^i)_p = f(\Delta P)$.

Полученные значения функций представляются последовательными единичными кодами $(N_1^i)_n$ и $(N_1^i)_p$ соответственно. В счетчике суммируются все коды и формируется двоичный четырехразрядный код в соответствии с выражением

$$(N_2^4)_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m (N_1^i)_n + \sum_{i=1}^k (N_1^i)_p + (N_2^4)_Q.$$

В реальной системе, исходя из точности определения фазового положения импульса зажигания, выбирают шаг квантования $\Delta\alpha = \Delta\varphi = 2\pi/z_m$ по

угловому положению вала (по фазе), где z_m — число зубьев на маховике датчика углового положения. Емкость $DD4$ равна числу градаций (квантов) углового положения коленчатого вала, на которые делится окружность $z_m = 2^n$, где n — число разрядов счетчика. Сформированные в прямоугольные импульсы сигналы с датчика углового положения вала используются в системе как тактовые импульсы (ТИ) и подаются на вход счетчика +1. В счетчике происходит суммирование ТИ и преобразование единичных (унитарных) кодов в двоичный. При поступлении на вход счетчика тактовых импульсов, число которых равно дополнительному коду счетчика $\bar{N}_\Sigma + 1$, где \bar{N}_Σ — обратный код, счетчик переполнится ($2^n = N_\Sigma + \bar{N}_\Sigma + 1$) и на его выходе появится импульс переноса. Этим импульсом $DD5$ установится в логический «0». Момент переполнения счетчика и является сформированным моментом искрообразования t_{io} .

Импульс длительностью $t_n = \Delta t \bar{N}_\Sigma$, где Δt — шаг дискретизации по времени ($\Delta t = T_{kv}/z_m$, T_{kv} — период вращения коленчатого вала), определяет время накопления энергии в реактивных элементах накопителя. Импульс $t_{os} = \Delta t N_\Sigma = f(n_{kv}, \Delta P, Q)$ определяет время опережения импульса зажигания по отношению к времени прохождения поршнем маркерного цилиндра ВМТ.

Несмотря на то что такие системы формирования были значительным шагом вперед по сравнению с механическими формирователями, они не могли обеспечить выполнение сложных законов формирования углов опережения зажигания в зависимости от многих параметров двигателя. Поэтому большее распространение получили системы с обработкой информации с датчиков ДВС путем считывания. Принцип построения таких формирователей фазы импульса зажигания показан на рис. 4.14.

Формирователь содержит постоянное запоминающее устройство КОМ ($DD1$), счетчик $CT2$ ($DD2$) и триггер T ($DD3$). По импульсу начала отсчета углового положения коленчатого вала U_{ho} (синхроимпульсу СИ) $DD3$ устанавливается в логическую «1». Функции УОИ возложены на $DD1$, а $DD2$

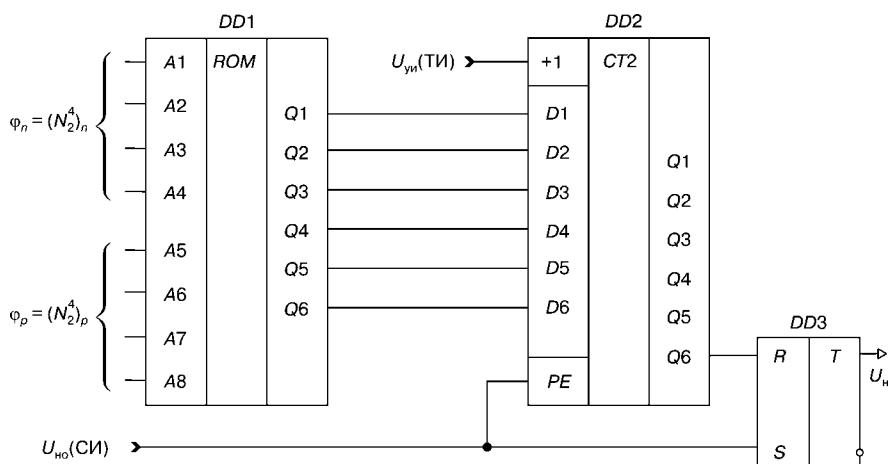


Рис. 4.14

Формирователь фазы импульса зажигания с алгоритмом работы по методу считывания

выполняет функции преобразователя кода во временной интервал. Четырехразрядные двоичные коды $(N_2^4)_n$ и $(N_2^4)_p$, сформированные соответственно измерительными преобразователями ПЧК и АКП, подаются на адресные входы $DD1$. На младшие разряды $A1-A4$ поступает код $(N_2^4)_n$, а на старшие $A5-A8$ — код $(N_2^4)_p$. Из ячейки памяти по данному адресу за один такт извлекается значение функции $t_{03} = \Delta t(N_2^6)_{03} = f(n_{\text{кв}}, \Delta P)$, представленное шестиразрядным двоичным кодом $(N_2^6)_{03}$. Синхроимпульсом СИ код $(N_2^6)_{03}$ записывается в $DD2$. На вход +1 счетчика поступают тактовые импульсы, привязанные по времени к импульсам углового положения вала. При поступлении на вход $DD2$ импульсов, количество которых равно дополнительному коду счетчика, он переполнится и на выходе старшего разряда $Q6$ появится сигнал переполнения. В современных микросхемах сигнал переполнения формируется на отдельном выходе. Этим сигналом $DD3$ устанавливается в логический «0». На выходе $DD3$ формируется импульс накопления, задний фронт которого определяет момент искрообразования.

В настоящее время рассмотренные формирователи фазы практически не используются. В новых разработках в качестве устройств обработки информации применяются исключительно микропроцессоры.

Микропроцессор объединяет функции нескольких элементов. Он программным путем преобразует сигнал частоты вращения вала, поступающий на его вход, в соответствующий код, выполняя функции преобразователя «частота — код»; производит вычисление методом считывания кода угла опережения зажигания (кода времени опережения импульса зажигания) и осуществляет формирование программным способом временного интервала, соответствующего времени опережения зажигания t_{03} . Для формирования временных интервалов микропроцессор использует внешний или внутренний генератор опорной частоты с кварцевой стабилизацией.

Производительность микропроцессоров позволяет решать все задачи управления двигателем, включая и задачи зажигания, в одном центральном контроллере. Однако до настоящего времени используются специализированные микропроцессоры, разрабатываемые для решения конкретной задачи управления определенным типом двигателя. Современные универсальные микропроцессоры, выпускаемые ведущими фирмами, позволяют отказаться от специализированных схем.

4.2.3. ФОРМИРОВАТЕЛИ АМПЛИТУДЫ ИМПУЛЬСА ТОКА В ПЕРВИЧНОЙ ОБМОТКЕ

В системе зажигания для устойчивого возбуждения и работы двигателя на всех режимах необходимо обеспечить баланс амплитуд. Это достигается выбором необходимой и достаточной амплитуды тока отключения (разрыва) в первичной обмотке трансформатора. Значение тока первичной обмотки трансформатора I_{10} в момент спада импульса накопления (отключения обмотки от источника питания) определяется его вольт-секундной площадью и зависит как от амплитуды U_n , так и от его длительности при отсутствии ограничения тока. Таким образом, амплитуду тока отключения I_{10} можно

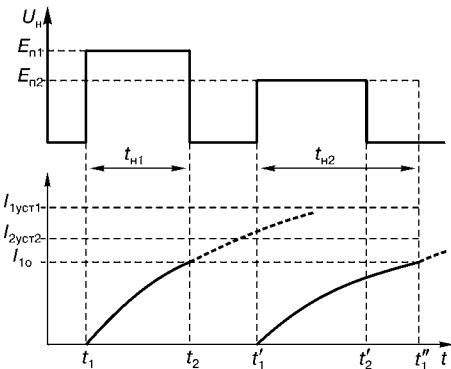


Рис. 4.15

Изменение тока в первичной обмотке трансформатора при изменении напряжения питания

регулировать, используя в качестве управляющих величин амплитуду U_n ($U_n = \text{var}, t_h = \text{const}$) или длительность t_h ($U_n = \text{const}, t_h = \text{var}$). Возможны и комбинированные методы регулирования. С другой стороны, на указанные параметры импульса накопления энергии влияют возмущающие воздействия — в основном изменение частоты вращения вала и напряжения питания. Так, при изменении амплитуды, вызванном изменением же напряжения питания E_n , меняется установившееся значение тока $I_{1\text{уст}}$, что приводит к изменению I_{10} . Чтобы сохранить неизменной амплитуду выходного напряжения U_{2m} , необходимо

димо поддерживать значение I_{10} на постоянном уровне. Это можно осуществить путем изменения длительности t_h . Тогда при увеличении E_n необходимо ее уменьшать, т. е. поддерживать вольт-секундную площадь U_n на определенном уровне (рис. 4.15).

Как отмечалось выше, длительность импульса накопления зависит и от частоты вращения вала двигателя: с ростом частоты она уменьшается. Выше определенной частоты вращения вала ток в первичной обмотке не достигает значения I_{10} в конце U_n . На низких частотах вращения коленчатого вала длительность U_n велика и ток I_1 успевает увеличиться до заданного значения I_{10} задолго до момента искрообразования. Это приводит к значительным потерям энергии, а также перегреву выходного транзистора и обмотки трансформатора, что является одной из главных причин снижения надежности всей системы зажигания.

Чтобы получить оптимальную энергию импульса зажигания при минимальных потерях в трансформаторе зажигания и оконечном каскаде усилиителя мощности, длительность импульса накопления стабилизируется при изменении частоты вращения вала двигателя и напряжения бортовой сети.

В простейших системах зажигания для формирования амплитуды импульса тока используются ограничители тока первичной обмотки. Широко применялось пассивное ограничение уровня тока за счет последовательного включения в цепь первичной обмотки добавочного резистора $R_{\text{доб}}$, который устраняет влияние снижения напряжения в бортовой сети при включении системы зажигания. Для этого он при пуске двигателя закорачивается. В штатном режиме на нем падает часть напряжения так, что к обмотке трансформатора подводится напряжение, на которое она рассчитывается. Добавочный резистор изготавливается из никелевой или константановой проволоки с сопротивлением 1–1,9 Ом. Конструктивно он часто объединяется с трансформатором зажигания. Сопротивление никелевого резистора зависит от силы протекающего через него тока. При низкой частоте вращения возможно увеличение тока первичной цепи выше оптимального значения, что вызывает перегрузку

трансформатора по температуре. Повышение температуры способствует увеличению сопротивления резистора, а это приводит к ограничению тока.

Для поддержания тока отключения I_{10} в первичной цепи в заданных пределах в системах зажигания используются:

1. Системы автоматического регулирования тока в первичной обмотке, основанные на принципе регулирования по отклонению. Они могут строиться как системы с регулированием силы тока путем изменения входных амплитудных параметров (силы тока или напряжения на входе усилителя мощности) или с регулированием длительности импульса накопления. В первом случае используются аналоговые системы с АИМ, во втором — широтно-импульсные с ШИМ на цифровых логических элементах. В регуляторах с АИМ регулирование осуществляется в реальном масштабе времени в течение перегрузки, что является несомненным преимуществом. В регуляторах с ШИМ необходимо запоминание времени перегрузки для коррекции импульса накопления в следующем цикле регулирования.

2. Системы автоматического регулирования тока по возмущению. Здесь можно отметить системы регулирования длительности импульса накопления в зависимости от изменений частоты вращения вала и значения напряжения источника питания. Чтобы поддерживать значение I_{10} на заданном уровне при увеличении частоты вращения выше предельной, на которой еще обеспечивается заданное значение тока отключения при данной постоянной времени входной цепи, увеличивают t_n за счет паузы между U_n . При понижении напряжения в бортовой сети и для достижения первичным током значения I_{10} увеличивают t_n .

3. Системы стабилизации импульса накопления на заданном уровне (формируют импульс накопления постоянной длительности). В технической литературе их называют «системы с нормируемым временем накопления».

Необходимо отметить, что регулирование времени накопления в зависимости от частоты вращения вала, напряжения бортовой сети и первичного тока должно осуществляться за счет смещения переднего фронта импульса, т. е. путем смещения начала U_n . При этом окончание импульса, а следовательно, и момент искрообразования должны оставаться неизменными.

На практике применяют комбинированные системы регулирования, где используется способ регулирования по возмущению (изменению частоты вращения вала и колебаниям напряжения питания) и отклонению параметра (отклонению первичного тока от заданного значения I_{10}).

Конечной целью работы системы зажигания является достижение необходимой температуры воспламенения и тепловой энергии в заданной точке камеры сгорания для надежного воспламенения и горения горючей смеси. Тепловую энергию можно накапливать, суммируя отдельные порции теплоты, получаемые в результате разряда, что целесообразно при холодном пуске двигателя, когда частота вращения вала невелика и элементы системы зажигания еще не нагрелись до предельной температуры. Исходя из этого, в настоящее время разработаны системы зажигания, в которых при пуске используется многоискровой режим. Система зажигания дополняется генератором, который формирует серию импульсов зажигания в режиме пуска.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКА ПО ОТКЛОНению

Чтобы улучшить процесс горения и облегчить пуск холодного ДВС с высокой степенью сжатия, в современных системах зажигания увеличивают ток отключения (разрыва) и, соответственно, запасаемую энергию в катушке зажигания. Для этого уменьшают сопротивление первичной обмотки до величины менее 1 Ом, что приводит к ужесточению электрического и теплового режимов выходного транзистора усилителя мощности. Стандартным считается способ ограничения тока через транзистор и обмотку трансформатора зажигания путем стабилизации длительности импульса накопления, определяющего ток разрыва к моменту искрообразования. Однако этот способ не может учесть все возмущающие воздействия на систему.

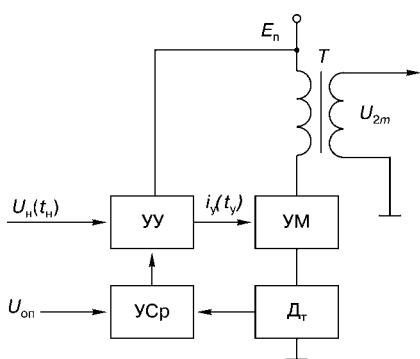


Рис. 4.16
Система автоматического регулирования тока в первичной обмотке

Для предотвращения перегрева обмотки и выхода ее из строя при изменении напряжения питания обязательным элементом в выходном каскаде усилителя мощности является ограничитель тока. Современные ограничители работают как системы автоматического регулирования тока (САР) в первичной обмотке (рис. 4.16).

САР содержит трансформатор зажигания T , который является объектом регулирования; усилитель мощности на полупроводниковом транзисторе $УМ$, выполняющий функции регулирующего органа; датчик тока D_t ; устройство сравнения $УСр$ (компаратор) и устройство управления $УУ$. Цель регулирования — поддержание в заданных пределах амплитуды тока отключения в первичной обмотке. Регулируемой величиной является амплитуда I_{10} . Управляющей величиной (сигналом управления) может быть в первом случае ток управления базы i_y , а во втором — длительность импульса управления t_y . Такая система регулирования является дискретной, так как время ее работы ограничивается длительностью t_n . Как видно из схемы, первичная обмотка трансформатора, $УМ$ и D_t включены последовательно. Ток, протекающий через датчик, равен току I_{10} . Сигнал с D_t поступает на $УСр$, где сравнивается с опорным напряжением U_{on} , которое определяет значение тока ограничения. В свою очередь, сигнал с $УСр$ поступает на $УУ$, которое формирует ток управления i_y регулирующим органом $УМ$, изменяя его сопротивление таким образом, чтобы ток I_{10} не превышал заданного значения.

Большинство современных систем зажигания используют САР амплитуды импульса тока в первичной обмотке. Данная система содержит резистивный датчик, включенный в эмиттерную цепь выходного транзистора. Сопротивление датчика составляет около 0,1 Ом, а рассеиваемая мощность — порядка 3–5 Вт. По напряжению на датчике определяется ток в первичной обмотке. Сигнал с датчика используется для регулирования тока, что воз-

можно осуществить только в линейном (активном) режиме транзистора. В этом случае транзистор используется как регулирующий орган дросселирующего типа. Такой режим ведет к быстрому росту рассеиваемой на транзисторе мощности и усложнению схемы выходного каскада. Использование германиевых транзисторов снижает рассеиваемую мощность, но уменьшает диапазон рабочих температур. Поэтому выходной транзистор стремится использовать в ключевом режиме.

При использовании ключевого режима транзистора в САР ток в первичной обмотке регулируют путем управления длительностью импульса накопления. Так как задний фронт импульса определяет момент зажигания, изменение его временного положения невозможно. Управлять длительностью импульса можно только путем изменения положения переднего фронта, что обуславливает смещение управляющего воздействия на период.

Решение этой задачи было облегчено после разработки по технологии IGBT высоковольтных ключей — так называемых smart-приборов (интеллектуальных приборов). В них интегрируется резистивный датчик тока в виде участка на кристалле, напряжение на котором пропорционально протекающему току. Выпускаются эти приборы со встроенным регулятором тока и с усилителем на выходе для подключения аналого-цифрового преобразователя микропроцессора (VB025BSR, VB027ASP). В современных системах зажигания функции управления током в первичной обмотке возлагаются на микропроцессор системы управления двигателем. Поэтому разработаны и выпускаются по технологии IGBT микросхемы без регулятора тока — BTS2145, BTS2163.

Использование регулирования по длительности импульса накопления в последующем цикле обработки информации приводит при резком увеличении или уменьшении частоты вращения вала двигателя (ускорении или торможении) к погрешности в определении величины тока и длительности управляющего импульса, а следовательно, к пропускам в искрообразовании. Этого не происходит, когда длительность управляющего импульса выбирается таким образом, чтобы при максимальном ускорении время накопления энергии не снижалось ниже критического значения. Однако в установившемся режиме это приводит к излишнему рассеиванию мощности.

Проблема уменьшения влияния переходных режимов двигателя на систему зажигания решается с помощью специального алгоритма обработки полученной информации от датчиков тока первичной обмотки, длительности импульса перегрузки (компьютера), выделяющего время превышения током установленного предельного значения и углового положения коленчатого вала. С целью облегчить составление таких алгоритмов в прибор VB027ASP введены два уровня сравнения тока первичной обмотки с заданными значениями (два уровня компарирования — предварительный и основной).

Разработан алгоритм регулирования длительности импульса накопления с корректировкой по величине приращения периода следования импульсов датчика углового положения. Это позволяет исключить из системы зажигания отдельную предварительную операцию нормирования времени накопления энергии.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКА В ПЕРВИЧНОЙ ОБМОТКЕ С АКТИВНЫМ РЕЖИМОМ ТРАНЗИСТОРА

На рис. 4.17 представлен один из наиболее распространенных вариантов формирователя постоянной амплитуды импульса тока первичной обмотки, работающего по принципу системы автоматического регулирования.

Он является импульсной трехпозиционной САР, обеспечивающей три уровня управляющей величины. Два уровня обеспечиваются режимами отсечки и насыщения, а третий — активным режимом. Принцип действия системы состоит в следующем. При поступлении на вход САР импульса накопления U_n высокого уровня запирается транзистор $VT1$. Выходной транзистор $VT2$ вводится в режим насыщения током сигнала управления i_y , равным i_{y_1} , что обеспечивает низкое сопротивление R_0 цепи первичной обмотки (первый уровень управляющей величины). В режиме отсечки остаточное напряжение на коллекторе транзистора небольшое. Ток в первичной цепи трансформатора T нарастает по экспоненте. Пока ток, протекающий через $VT2$ и $R6$, включенный последовательно в эмиттерную цепь транзистора, ниже допустимого уровня ограничения, на выходе операционного усилителя DA остается низкий потенциал. $R6$ выполняет функции датчика тока. При достижении током I_{m10} допустимого уровня напряжение на датчике достигает значения U_{on} . Устройство сравнения срабатывает, и на его выходе появляется сигнал высокого уровня. Потенциал на $VT1$ понижается, что приводит к уменьшению i_y до значения i_{y_2} . $VT2$ выходит из режима насыщения, переходит в активный режим и начинает закрываться, обеспечивая повышение сопротивления цепи обмотки до $R2$ (второй уровень управляющей величины). Ток в обмотке уменьшается, что приводит к уменьшению напряжения на датчике, на выходе устройства сравнения появляется сигнал низкого уровня. $VT2$ снова открывается. Начинается процесс регулирования, который обеспечивает изменение амплитуды тока в первичной обмотке на заданном уровне и длится до окончания импульса накопления. После этого $VT2$ закрывается,

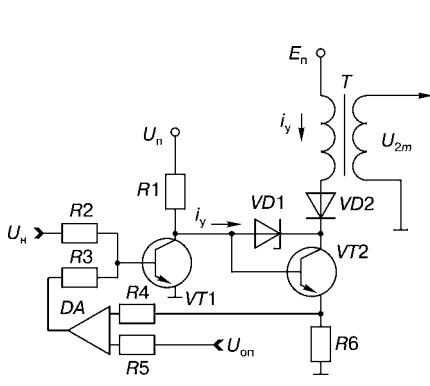


Рис. 4.17

Формирователь постоянной амплитуды
импульса тока первичной обмотки

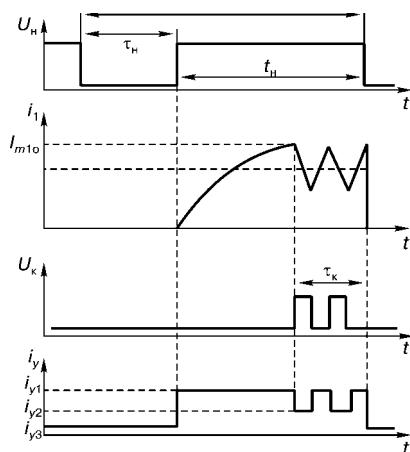


Рис. 4.18

Изменение регулируемого тока
в обмотке

обеспечивая сопротивления цепи обмотки $R3$ (третий уровень управляющей величины). Процесс регулирования тока в обмотке показан на рис. 4.18.

Введение в формирователь трехпозиционного регулятора тока позволяет не только защитить коммутационный транзистор от чрезмерного тока, но и стабилизировать ток отключения при колебаниях питающего напряжения в широких пределах, тем самым обеспечивая неизменные выходные характеристики системы зажигания.

Однако активный режим работы связан с большим выделением тепловой мощности на выходном транзисторе (порядка 60–80 Вт), что накладывает жесткие требования на продолжительность включеного состояния выходного транзистора. Время включеного состояния, или время накопления энергии в реактивных элементах, должно регулироваться таким образом, чтобы минимизировать или вообще исключить нахождение выходного транзистора в режиме ограничения в рабочем диапазоне частот вращения вала двигателя. Эту задачу решают регуляторы времени накопления.

4.2.4. ФОРМИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

В данном случае целью формирования является получение постоянной длительности импульса накопления энергии, не зависящего от частоты следования импульсов с датчика. Как известно, канал обратной связи системы зажигания является импульсной цепью. Проблема преобразования и обработки информации импульсных сигналов заключается в том, что до прихода следующего импульса с датчика информация об их периоде следования не может быть получена. Эта проблема может решаться двумя способами: запоминанием полученной информации о периоде следования импульсов или обработкой, а также преобразованием в следующем цикле (периоде) либо разделением периода. В последнем случае одну его часть используют для получения информации о частоте следования импульсов (периоде), а другую — для обработки и преобразования полученной информации. В рассматриваемом формирователе постоянной длительности (ФПД) выбран второй способ.

Чтобы выполнить преобразования и обработку информации по используемому в формирователе алгоритму, необходимо предварительно сформировать импульсы, поступающие с датчика, в импульсы постоянной скважности. В существующих системах используются формирователи постоянной скважности (ФПС) импульсов со скважностью, равной $i = T_d/\tau_n = 3$ по импульсу паузы, где T_d — период следования импульсов датчика, τ_n — длительность импульса паузы, или со скважностью, равной $\gamma = T_d/\tau_d = 3/2$ по импульсу датчика, здесь τ_d — длительность импульса датчика. Чем больше берется скважность, тем выше предельная частота входного сигнала, но при этом падает точность определения периода следования импульсов.

На работу таких формирователей накладываются определенные ограничения. В частности, нельзя формировать длительность импульса накопления за счет изменения положения заднего фронта, который определяет время искрообразования.

АНАЛОГОВЫЕ ФОРМИРОВАТЕЛИ

Схема ФПД импульса накопления энергии на аналоговых элементах представлена на рис. 4.19.

Формирователь содержит интегратор, выполненный на операционном усилителе $DA1$ и конденсаторе C , устройство сброса на транзисторе $VT1$, диоде $VD1$ и резисторах $R2, R3$ и компаратор, выполненный на операционном усилителе $DA2$. Интегратор преобразует временной интервал (длительность импульса) в напряжение на конденсаторе. При этом он выполняет операцию интегрирования в соответствии со своей функцией преобразования, что позволяет рассматривать его как аналоговое УОИ. Принцип работы схемы иллюстрируется временными диаграммами сигналов (рис. 4.20).

Работа формирователя протекает в два этапа. На первом производится определение частоты вращения вала двигателя по периоду следования импульсов. За время действия низкого уровня сигнала датчика (паузы) на $DA1$ производится преобразование длительности паузы τ_p (сигнала с широтно-импульсной модуляцией) в напряжение на конденсаторе U_C . Это преобразование можно записать как $U_d(\text{ШИМ}) - (\tau_p)E \rightarrow U_C(\text{AM})E$. Интегратор выполняет операцию интегрирования и за время паузы напряжение на конденсаторе достигнет значения

$$U_{C_{\max}} = \frac{1}{C} \int_0^{\tau_p} \tau_{\text{зап}} dt,$$

где $\tau_{\text{зап}}$ — ток заряда конденсатора.

Таким образом, за время, равное $\tau_p = T_d/3$, путем заряда конденсатора до значения напряжения $U_{C_{\max}}$ определяется величина, пропорциональная периоду, а период следования импульсов с датчика будет определяться выражением

$$T_d = 3kU_{C_{\max}},$$

где k — коэффициент преобразования.

На втором этапе устройство преобразует полученное напряжение в интервал времени. При высоком уровне сигнала датчика конденсатор разряжается. Токи заряда и разряда конденсатора выбираются таким образом, чтобы напряжение на выходе интегратора после разряда конденсатора опять достигало опорного напряжения $U_{\text{оп1}}$. При разряде конденсатора происходит преобразование $U_{C_{\max}}$ в длительность импульса. При постоянном заданном токе разряда длительность выходного импульса определяется уровнем напряжения на конденсаторе. Время разряда конденсатора от величины заданного напряжения $U_{\text{оп2}}$ до $U_{\text{оп1}}$ будет постоянным и равным времени накопления.

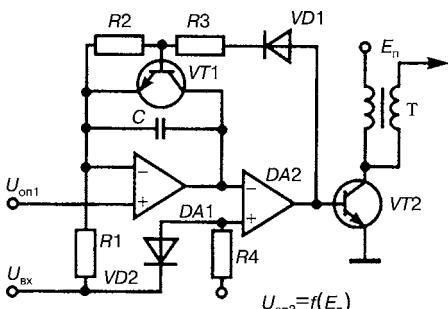


Рис. 4.19

Схема формирователя постоянной длительности импульса накопления энергии

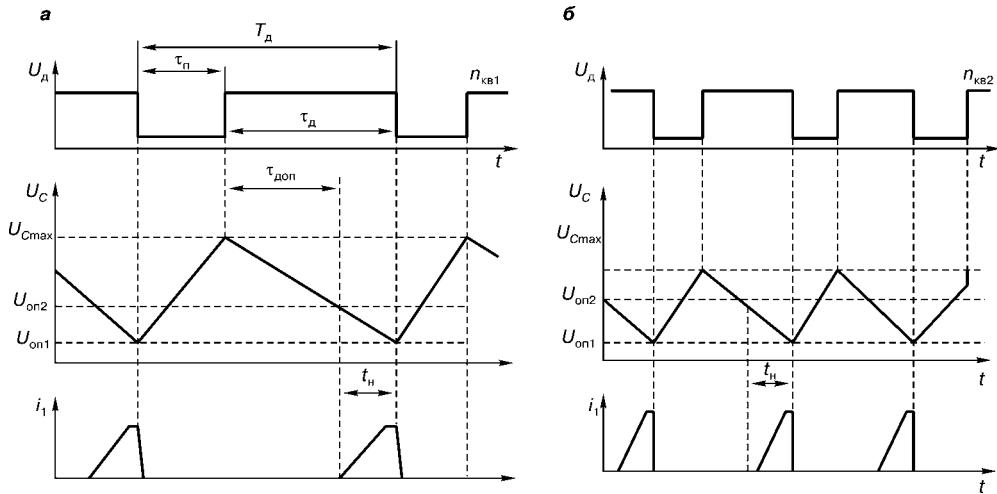


Рис. 4.20

Формирование времени накопления при различной частоте вращения вала двигателя:

a — при частоте $n_{\text{kb}1}$; *б* — при частоте $n_{\text{kb}2}$ ($n_{\text{kb}1} < n_{\text{kb}2}$)

С этой целью производится разряд конденсатора током $i_{\text{раз}} = 1/2i_{\text{зар}}$. Интегратор выполняет операции

$$U_{C_{\max}} = \frac{1}{C} \int_0^{\tau_d} -i_{\text{раз}} dt.$$

При постоянном токе разряда получаем

$$\tau_d = -CU_{C_{\max}} / i_{\text{раз}}.$$

Знак «минус» отражает обратный наклон функции преобразования. Напряжение U_C сравнивается в DA2 с $U_{\text{оп}2}$, пропорциональным времени накопления. На выходе компаратора формируется независимо от продолжительности периода сигнала датчика сигнал определенной длительности t_h перед следующим импульсом зажигания. При достижении на конденсаторе $U_{\text{оп}2}$ срабатывает устройство сравнения (компаратор). Этот сигнал определяет начало формирования импульса накопления. За время разряда конденсатора от $U_{\text{оп}2}$ до $U_{\text{оп}1}$ формируется импульс, длительность которого можно найти из выражения

$$U_{\text{оп}2} = \frac{1}{C} \int_0^{t_h} -\tau_{\text{раз}} dt,$$

откуда $t_h = -CU_{\text{оп}2}/i_{\text{раз}}$.

Видно, что время накопления не зависит от частоты следования импульсов с датчика. В качестве УОИ формирователь выполняет операцию

$$U_{C_{\max}} - U_{\text{доп}} = U_{\text{оп}2},$$

где $U_{\text{доп}}$ — величина напряжения, которую можно назвать дополнением к $U_{C_{\max}}$; $U_{\text{оп}2}$ — заданное опорное напряжение (напряжение смещения), определяющее время накопления.

При преобразовании напряжения во временной интервал происходит вычитание временного интервала $t_{\text{доп}}$, соответствующего величине напряжения дополнения $U_{\text{доп}}$, из временного интервала импульса датчика так, чтобы остаток составил $t_n = \tau_d - \tau_{\text{доп}}$. В этом случае при изменении частоты следования импульсов изменяются $U_{C_{\max}}$ и, следовательно, $U_{\text{доп}}$, а так как $U_{\text{оп2}} = \text{const}$, то и $t_n = \text{const}$. Вычитаемая величина привязывается по времени к началу импульса датчика, а формируемый импульс постоянной длительности получается за счет изменения положения переднего фронта. Задний фронт, соответствующий моменту искрообразования, не смещается.

Характерной особенностью таких формирователей является преобразование вида модуляции по схеме ШИМ → АМ → ШИМ.

Одновременно сигнал с компаратора используется для быстрого разряда конденсатора через $VT1$. Это делается для того, чтобы привести напряжение на конденсаторе к $U_{\text{оп1}}$.

Так как необходимая продолжительность включения первичной обмотки зависит также от напряжения питания, то для коррекции длительности импульса накопления порог срабатывания компаратора может зависеть от $U_{\text{оп2}} = f(E_n)$.

Выбором постоянных времени заряда и разряда конденсатора и заданного уровня напряжения компаратора обеспечивается требуемый закон изменения длительности выходного импульса тока в зависимости от частоты следования входных импульсов.

Регулирование длительности импульса накопления энергии осуществляется в диапазоне частот вращения вала от n_{\max} до $n_{\text{огр}}$. Это происходит потому, что при $n_{\text{огр}}$ напряжение на конденсаторе становится равным опорному напряжению. Поэтому регулирование t_n будет происходить только до $n_{\text{огр}}$. При дальнейшем увеличении частоты компаратор не вырабатывает сигнала сравнения и управление $VT2$ в реальной системе организуют прямо от входной цепи. В этом случае формирователь будет работать как система с нерегулируемым временем накопления. Поэтому с увеличением частоты вращения выше $n_{\text{огр}}$ t_n будет уменьшаться. Длительность положительных импульсов, датчика выбирается исходя из обеспечения t_n на частотах вращения выше $n_{\text{огр}}$.

Кроме нормирования времени накопления энергии в функции частоты вращения схема осуществляет корректировку времени в функции напряжения питания, которое в процессе эксплуатации колеблется в широких пределах. При повышении напряжения питания увеличивается напряжение, до которого заряжается конденсатор, что определяет момент начала накопления энергии в первичной обмотке, вследствие чего ток отключения остается постоянным.

Рассмотренный тип формирователя можно отнести к регуляторам по возмущению. Их недостатком является невозможность учета всех факторов, влияющих на силу тока отключения в первичной обмотке. К таким факторам можно отнести, например, разброс параметров первичной обмотки трансформатора зажигания ($R1, L1$), нестабильность скважности сигнала датчика в процессе эксплуатации, разброс номиналов элементов схемы при воздействии

окружающей среды, а отсюда — невысокую точность приближения параметров токового импульса к оптимальным значениям. Лучшие результаты дают регуляторы, работающие по принципу отклонения регулируемого параметра, и комбинированные. В последних могут использоваться оба принципа.

ДИСКРЕТНО-КОДОВЫЕ ФОРМИРОВАТЕЛИ

Используя рассмотренный алгоритм работы формирователя, можно построить ФПД на дискретно-кодовых (логических) элементах с использованием частотно-временных сигналов. Преимущества таких устройств перед аналоговыми значительны. Эталонные сигналы для частотно-временных систем имеют на порядок более высокую точность по сравнению с амплитудными, например с опорным напряжением. Температурная зависимость логических элементов ничтожно мала по сравнению с температурной зависимостью аналоговых элементов.

Принципиальная электрическая схема формирователя импульса накопления показана на рис. 4.21.

Формирователь содержит генератор G эталонной частоты f_0 $DD2$ с триггером $DD3.1$, делящим эталонную частоту на два; восьмиразрядный синхронный реверсивный счетчик, включающий две микросхемы $DD5$ и $DD6$; дешифратор заданного кода N_0 , содержащий схему совпадения на восемь входов $DD7$ и инверторы $DD1.3-6$; триггер $DD3.2$; одновибратор (см. рис. 4.22), собранный на логических элементах $DD8$; схему совпадения $DD9$, выделяющую импульс накопления, и логические элементы $DD1$, $DD4$ и $DD8$.

Алгоритм работы рассматриваемого формирователя полностью совпадает с алгоритмом ФПД на аналоговых элементах.

Тип микросхем выбирается исходя из условий работы на АТС. В данном случае схемы синтезированы путем моделирования на стандартных пакетах программ с использованием их библиотек.

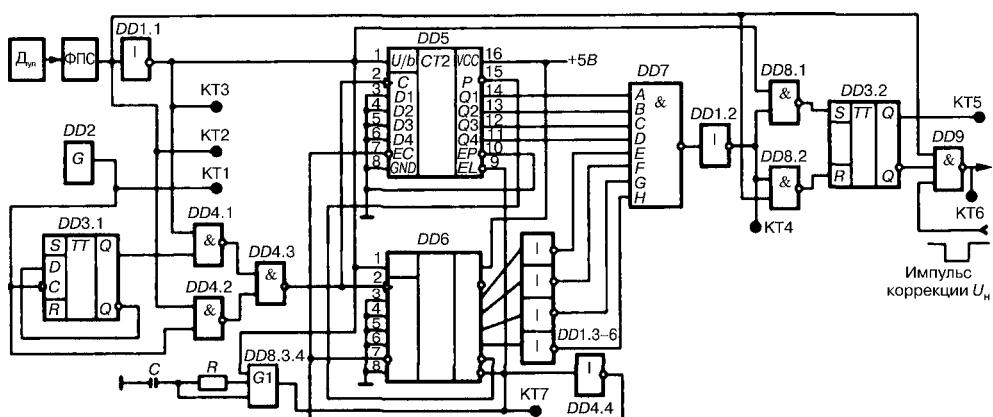


Рис. 4.21
Принципиальная электрическая схема формирователя импульса накопления постоянной длительности с использованием частично-временных сигналов

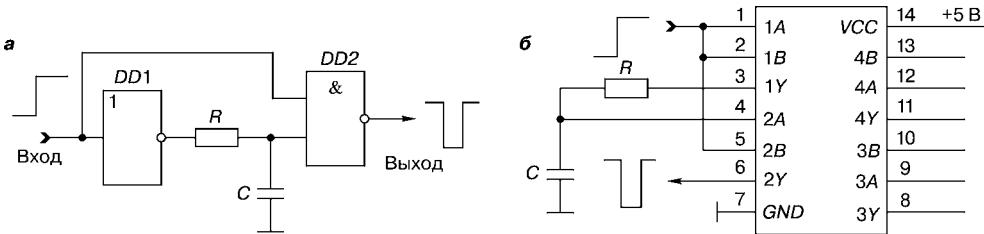


Рис. 4.22
Схемы одновибратора:
а — функциональная; б — принципиальная.

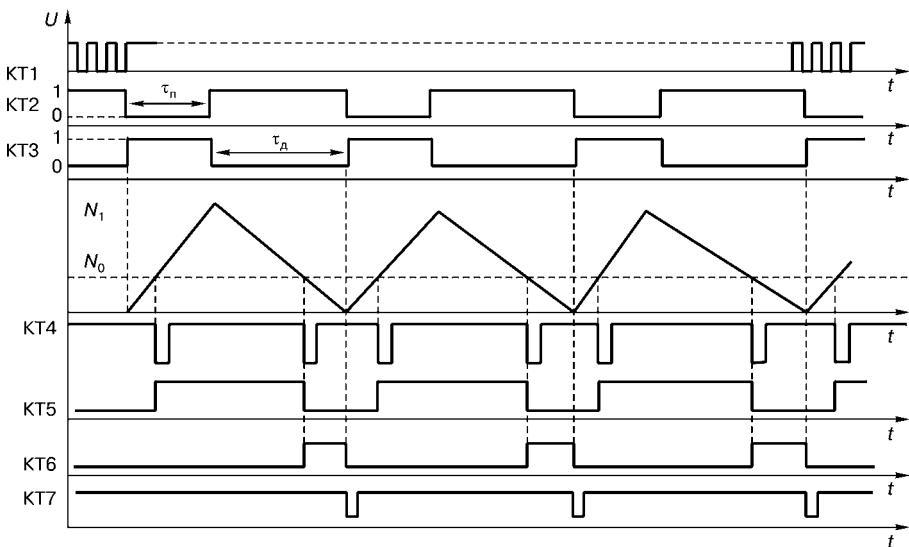


Рис. 4.23
Диаграммы сигналов в контрольных точках ФПД импульса накопления
с использованием дискретно-кодовых элементов с частотно-временными сигналами

Для реализации многоразрядного реверсивного счетчика на микросхемах К555ИЕ17 необходимо учитывать особенности работы этой схемы. Управление счетом осуществляется по входу 1 (+1/-1). На схеме он обозначен U/D . При логической «1» на входе управления счетом счетчик считает единичные приращения, формируя двоичный позиционный код, при логическом «0» счетчик вычитает единичные приращения из кода, записанного в счетчик. Со входов 01–04 осуществляется параллельная синхронная запись двоичного позиционного кода по спаду тактового импульса отрицательной полярности на входе C и подаче логического «0» на вход разрешения загрузки EL . При счете импульсов, представляющих единичный код, на вход EL должна подаваться логическая «1».

Для разрешения переноса и разрешения счета на входы EP и EC необходимо подавать логический «0». Разрешающим сигналом на выходе переноса P является логический «0», при этом на выходе разрешения переноса EP должен быть логический «1».

Диаграммы сигналов в контрольных точках, поясняющие принцип работы ФПД, показаны на рис. 4.23.

Работает формирователь следующим образом. На вход управления счетом 1 счетчика СТ2 поступает сигнал с датчика углового положения вала D_{up} , прошедший формирователь постоянной скважности ФПС и инвертор $DD1.1$ (контрольная точка зажигания (КТ)). Предварительно СТ2 устанавливается в исходное состояние импульсом с одновибратора $G1$ (КТ7), сформированным по нарастающему фронту импульса со схемы $DD1.1$. Эта операция осуществляется путем записи в СТ2 по входам $D1-D4$ обеих микросхем кода N_2^8 по разрешающему сигналу на входе EL , соответствующему логическому «0», который формируется $G1$. При подаче разрешающего сигнала на вход EL производится запись кода в счетчик по спаду тактового импульса отрицательной полярности на входе C . При высоком уровне, равном логической «1», который поддерживается в течение длительности паузы τ_n , СТ2 работает в режиме суммирования единичных приращений (+1), поступающих на вход C в виде импульсов эталонной частоты $f_1 = f_0$ с генератора G (КТ1) через логические элементы $DD4.2$ и $DD4.3$. Счетчик начинает суммировать импульсы, поступающие на вход C . За время паузы в счетчике сформируется код

$$(N_2^8)_+ = \int_0^{\tau_n} f_0 dt = f_0 \tau_n.$$

По окончании паузы сигнал на входе 1 сменит уровень на логический «0». Счетчик переходит на режим вычитания импульсов, следующих с частотой $f_2 = f_0/2$ из сформированного в нем кода. Деление частоты следования импульсов осуществляет триггер $DD3.1$. Сигнал с его выхода Q через схему совпадения $DD4.1$ и схему $DD4.3$ поступает на вход C . Логическая схема «И-НЕ» $DD4.3$ для сигналов, представленных логическим «0», выполняет логическую функцию «ИЛИ». За время импульса датчика τ_d из счетчика будет вычитаться код

$$(N_2^8)_- = \int_0^{\tau_d} \left(\frac{f_0}{2}\right) dt = \left(\frac{f_0}{2}\right) \tau_d.$$

Так как $\tau_d = 2\tau_n$ $(N_2^8)_+ = (N_2^8)_-$.

Состояние СТ2 при изменении кода N_{i+} и N_i графически показано на рис. 4.23 без отражения процесса квантования. При достижении кодом в счетчике заданного значения, равного N_0 , срабатывает дешифратор и на выходе $DD7$ появляется сигнал (КТ4). В рассматриваемой схеме $N_0 = 15$. Импульс с выхода $DD7$ инвертируется и проходит через $DD8.1$ при уровне логическая «1» во время паузы или через $DD8.2$ при уровне логическая «1» во время импульса датчика. Эти импульсы устанавливают $DD3.2$ соответственно в состояние логическая «1» или логический «0» (КТ5). На выходе схемы совпадения $DD9$ формируется U_n длительностью t_n . На один из входов $DD9$ может подаваться импульс t_n при превышении током в первичной обмотке трансформатора заданного значения.

Характерной особенностью таких формирователей является последовательное преобразование вида модуляции ШИМ → КИМ → ШИМ.

4.2.5.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОГО ТОКА С КЛЮЧЕВЫМ РЕЖИМОМ ТРАНЗИСТОРА

Управление током первичной обмотки в таких формирователях осуществляется системой автоматического регулирования путем изменения длительности импульса накопления. Данный режим для выходного транзистора является двухпозиционным, что позволяет ему работать в ключевом режиме. Принципиальная схема САР амплитуды тока в первичной обмотке трансформатора с использованием дискретно-кодовых элементов и частотно-временных сигналов представлена на рис. 4.24.

В формирователе используется принцип регулирования по отклонению, что позволяет учесть кроме частоты вращения вала и другие возмущающие воздействия. Амплитуда тока меняется не за счет изменения величины управляющего тока выходного транзистора, а вследствие изменения длительности импульса накопления. Он содержит формирователь постоянной длительности импульса накопления (ФПД), рассмотренный ранее, и датчик углового положения с ФПС. Кроме этих устройств на схеме приведены выходной каскад усилителя мощности, включающий транзистор VT , резисторы $R1$, $R2$ и датчик тока R_d , входящий в цепь эмиттера. Элементы защиты транзистора на схеме не показаны. В цепь коллектора транзистора включена первичная обмотка трансформатора T . Напряжение с датчика подается на схему сравнения (компаратор), выполненную на операционном усилителе DA . Канал обратной связи формирователя включает генератор эталонной частоты $G(DD2)$, счетчик $DD5$, реверсивный синхронный счетчик $DD6$, дешифратор DC , собранный на логических элементах $DD1$, $DD3$, $DD4$.

Диаграммы, поясняющие принцип работы формирователя, показаны на рис. 4.25.

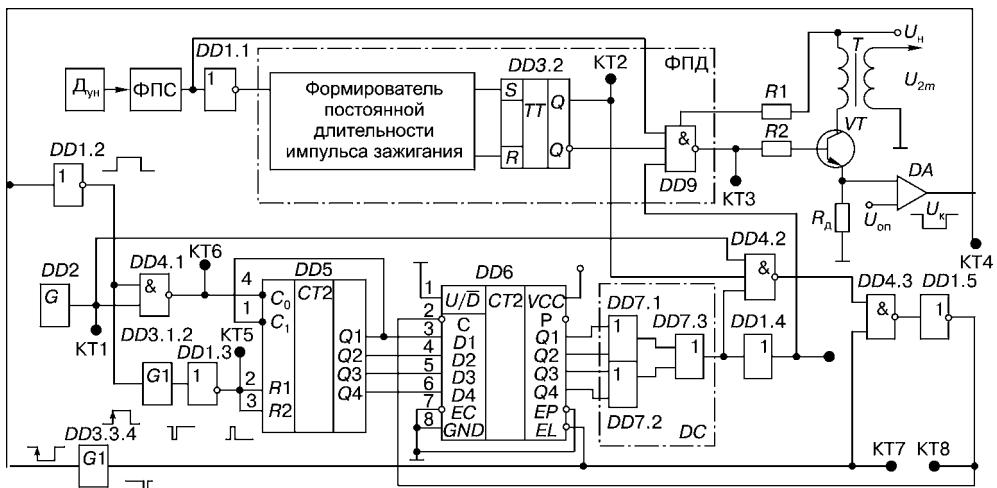


Рис. 4.24

Принципиальная схема системы автоматического регулирования тока первичной обмотки трансформатора зажигания с ключевым режимом работы выходного транзистора

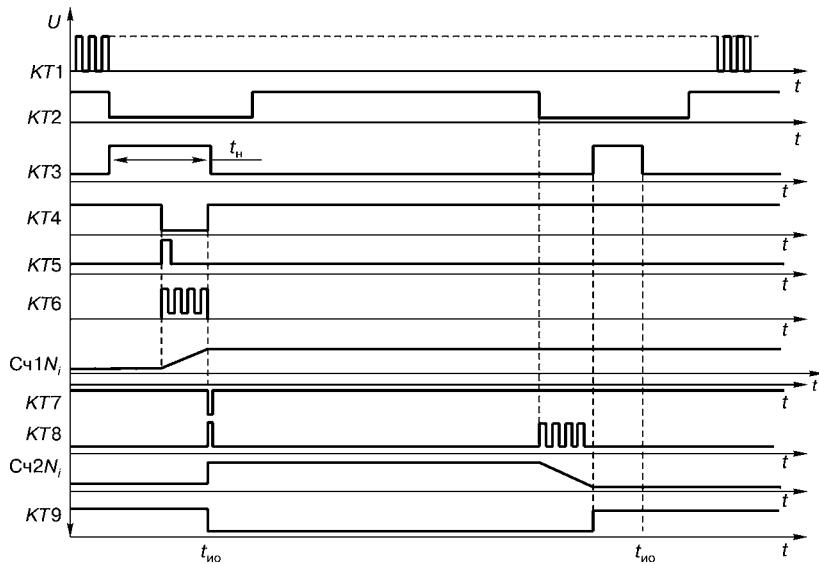


Рис. 4.25

Диаграммы, поясняющие принцип работы формирователя тока в первичной обмотке с ключевым режимом работы транзистора

Работает система автоматического регулирования следующим образом. Импульс накопления (КТ) поступает на базу транзистора усилителя мощности. При превышении тока в первичной обмотке на сопротивлении датчика тока R_d напряжение достигнет уровня $U_{\text{оп}}$. Компаратор DA сработает и на его выходе появится сигнал низкого уровня (логический «0»). На схеме $DD1.2$ он инвертируется и подается на схему совпадения $DD4.1$ как сигнал разрешения для импульсов генератора G (КТ1). По окончании импульса накопления ток в датчике уменьшается и компаратор OA переходит в другое состояние. На выходе DA формируется импульс U_k (импульс коррекции), длительность которого равна времени перегрузки в первичной цепи (КТ4). С помощью $DD4.1$ длительность импульса преобразуется в единичный код, который счетчиком $DD5$ преобразуется в двоичный позиционный код и запоминается до следующего цикла формирования импульса зажигания. По переднему фронту импульса коррекции одновибратор $G1$ ($DD3.1.2$) формирует импульс (КТ5), по которому счетчик сбрасывается в исходное состояние. Состояние $DD5$ показано на диаграмме $C1Ni$ (рис. 4.25). По заднему фронту импульса коррекции (КТ7) код из $C1$ переносится в $C2$ ($DD6$), который является реверсивным счетчиком. В момент установки триггера TT формирователя постоянной длительности импульса в исходное состояние (КТ2) на $C2$ начинают поступать через схему совпадения $DD4.2$ и схемы $DD4.3$, $DD1.5$ импульсы с G . Счетчик $C2$ работает только на вычитание.

Момент установки TT в логический «0» определяет момент формирования импульса накопления в новом цикле. Так как код, записанный в $C2$, не равен нулю, дешифратор нулевого состояния C счетчика через $DD1.4$ запрещает проход импульса накопления на базу транзистора. При вычитании

импульсов из Сч2 с постоянной частотой следования формируется интервал времени, равный импульсу коррекции. Состояние Сч2 отражается диаграммой Сч2N_i (см. рис. 4.25). При установке Сч2 в исходное положение срабатывает дешифратор (КТ9) и на выход схемы совпадения проходит импульс накопления. Его длительность уменьшается на время, которое соответствует перегрузке первичной обмотки трансформатора. Если импульс перегрузки не формируется компаратором, то канал обратной связи формирователя не работает.

Рассмотрим синтез дешифратора. Исходя из таблицы истинности, можно записать логическую формулу функционирования дешифратора нулевого состояния счетчика DD6. Обозначим переменную величину на выходе дешифратора через F. Тогда $F = \bar{Q}1\bar{Q}2\bar{Q}3\bar{Q}4$. Можно синтезировать дешифратор на основе полученного выражения. Однако используемая схема счетчика не имеет инверсных выходов триггеров. Поэтому целесообразно преобразовать уравнение, исключив из него инверсии входных переменных. Окончательно получим выражение $F = (Q1 + Q2) + (Q3 + Q4)$, на основании которого синтезирован дешифратор.

4.2.6. УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ

В усилителях мощности в выходной цепи применяются мощные транзисторы, способные коммутировать токи до 10 А в индуктивной нагрузке коллекторной цепи. В системах с накоплением в емкости применяются тиристоры.

Полупроводниковые элементы в выходных каскадах усилителя мощности работают в напряженном электрическом и тепловом режимах. Применение германьевых транзисторов с низким остаточным напряжением уменьшает мощность потерь в открытом режиме, но снижает температурные характеристики усилителей мощности. Использование кремниевых транзисторов имеет обратный эффект.

В современных системах зажигания все большее распространение получают высоковольтные ключи на транзисторах. В настоящее время для высоковольтных ключей используются биполярные транзисторы с МОП-управлением, получившие название IGBT — Insulated Gate Bipolar Transistor (биполярный транзистор с изолированным вентилем). Все ведущие производители мощных транзисторов изготавливают эти микросхемы. IGBT представляет собой p-n-p-транзистор, управляемый от сравнительно низковольтного МОП-транзистора с индуцированным каналом через высоковольтный n-канальный полевой транзистор. Новая технология позволила соединить в одном элементе достоинства полевых и биполярных транзисторов. У IGBT практически отсутствуют входные токи.

Эти транзисторы имеют хорошие динамические характеристики. В то же время потери у них растут пропорционально току, а не квадрату тока, как у полевых транзисторов.

Максимальное напряжение IGBT ограничено только технологическим пробоем, и уже сегодня выпускаются приборы с рабочим напряжением до 2000 В. При этом напряжение насыщения у них не превышает 2–3 В в рабо-

чих режимах. Основным недостатком IGBT пока являются динамические потери, что снижает допустимый ток коллектора на частотах выше 10 кГц. Однако для усилителей мощности систем зажигания, где рабочие частоты не превышают 200–300 Гц, микросхемы с IGBT предпочтительнее других полупроводниковых приборов.

Для того чтобы включить выходной транзистор и обеспечить режим насыщения, необходимо подать на базу управляющий ток

$$i_y \geq \frac{I_{1o}}{B_{ct}} k_n,$$

где: I_{1o} — сила коллекторного тока транзистора к моменту отключения; B_{ct} — статический коэффициент усиления по току транзистора; k_n — коэффициент насыщения, который должен быть больше единицы (выбирается в пределах 2–4 для ключевых каскадов).

В качестве источника управляющего тока используется каскад предварительного усиления, включенный по схеме с общим коллектором (рис. 4.26а).

Такое включение является наиболее экономичным с точки зрения рассеиваемой мощности. Когда транзистор $VT1$ открыт, на базу транзистора $VT2$ течет ток

$$i_y = \frac{E_n - U_{k\text{нас}} VT1 - U_{\text{б\text{нас}}} VT2}{R_k} - \frac{U_{\text{б\text{нас}}} VT2}{R_{b3}},$$

причем значение i_y должно удовлетворять приведенному выше условию.

Значения напряжений насыщения $VT1$ и $VT2$ выбираются из паспортных данных, резистор R_k служит для ограничения коллекторного тока через $VT1$. Если $VT1$ закрыт, управляющий ток $i_y = 0$ и база $VT2$ зашунтирована на корпус через резистор R_{b3} , следовательно, транзистор надежно заперт. R_{b3} улучшает условия запирания $VT2$. Сопротивление R_{b3} в зависимости от типа транзистора выбирается равным от 10 до 1000 Ом.

Недостатком схемы является значительное изменение управляющего тока при колебаниях питающего напряжения. Так как номинал R_k рассчитывается при минимальном значении питающего напряжения, при больших значениях напряжения мощность, рассеиваемая на R_k , достигает 10–12 Вт, если применяются выходные транзисторы с $B_{ct} = 5–10$. При использовании выходных транзисторов, имеющих $B_{ct} = 100–150$, рассеиваемая мощность на резисторе снижается до 3 Вт.

Мощность, рассеиваемая в каскаде предварительного усиления, может быть снижена приблизительно в 3 раза за счет стабилизации управляющего тока. С этой целью в схему введены резистор R_d , выполняющий функции датчика тока, и транзистор обратной связи МТЗ (рис. 4.26б).

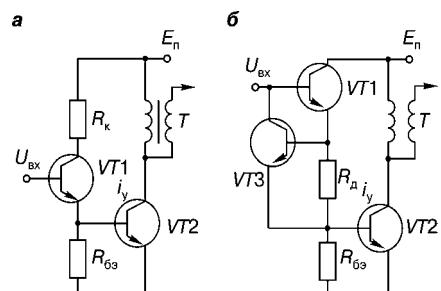


Рис. 4.26
Схема управления коммутационным транзистором усилителя мощности:
а — каскад на эмиттерном повторителе;
б — каскад со стабилизатором тока.

Падение напряжения на R_d вследствие протекания через него управляющего тока i_y приложено к участку «база — эмиттер» транзистора $VT3$. Любое отклонение значения управляющего тока от заданного уровня i_y , например при колебаниях питающего напряжения, вызывает изменение напряжения на R_d и, следовательно, изменение режима работы $VT3$. При увеличении управляющего тока потенциал на коллекторе $VT3$ начинает уменьшаться, $VT1$ запирается, уменьшая тем самым ток управления до уровня i_y . При его уменьшении ниже уровня i_y потенциал на коллекторе $VT3$ возрастает, $VT1$ отпирается в большей степени и ток управления возрастает до уровня i_y . Таким образом, обеспечивается стабилизация управляющего тока на требуемом уровне.

4.2.7. СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ВЫХОДНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Необходимость в защите выходного транзистора от перенапряжений возникает в ряде специфических режимов работы системы зажигания. Например, режим открытой вторичной цепи является аварийным, так как значительно увеличивается амплитуда импульса первичного напряжения, прикладываемого к участку «коллектор — эмиттер» выходного транзистора, что может вызвать пробой перехода. Кроме того, увеличивается и амплитуда импульса вторичного напряжения, что может вызвать пробой изоляции вторичной цепи трансформатора зажигания и, следовательно, отказ системы зажигания. С целью ограничить амплитуду импульса первичного напряжения на допустимом для выходного транзистора уровне используют схемы защиты, выполненные, как правило, на нелинейных элементах — стабилитронах и варисторах. Наиболее простой является схема, представленная на рис. 4.27а.

В этой схеме защитный стабилитрон VD включен параллельно участку «коллектор — эмиттер» транзистора VT . Напряжение пробоя стабилитрона выбирают немного меньшим $U_{\text{кэ доп}}$ транзистора. Увеличение первичного напряжения до $U_1 < U_{\text{ст}VD}$ не приводит к пробою стабилитрона. При увеличении первичного напряжения до $U_1 > U_{\text{ст}VD}$ стабилитрон пробивается и через него начинает протекать ток $i_{\text{ст}}$, при этом амплитуда импульса первичного напряжения ограничивается на допустимом для VT уровне. Амплитуда импульса тока через стабилитрон составляет 2–4 А, что требует применения мощных стабилитронов.

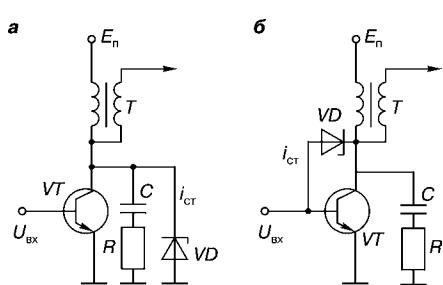


Рис. 4.27
Способы включения стабилитрона
для защиты транзистора
от перенапряжения:

а — параллельно участку «коллектор — эмиттер»; б — параллельно участку «база — коллектор».

Создание новых силовых транзисторов, способных коммутировать большую импульсную энергию (более 200 мДж), а также стремление уменьшить габари-

ты коммутатора позволили осуществить защиту выходного транзистора путем введения стабилитрона параллельно участку «база — коллектор» (рис. 4.27б). Этот способ позволяет уменьшить импульсный ток через стабилитрон в B_{ct} раз (B_{ct} — статический коэффициент усиления по току выходного транзистора).

При увеличении первичного напряжения до $U_1 > U_{ctVD}$ стабилитрон пробивается и в базу выходного транзистора втекает ток, который приоткрывает VT на время действия импульса перенапряжения. Проводящий участок «коллектор — эмиттер» транзистора шунтирует источник напряжения, ограничивая тем самым амплитуду первичного импульса на допустимом уровне.

Существуют и более сложные схемные решения, позволяющие еще больше снизить импульсный ток, протекающий через стабилитрон.

Конденсатор C , включенный параллельно участку «коллектор — эмиттер» выходного транзистора, служит для предотвращения выхода транзистора в область лавинного пробоя в процессе его запирания, а также является элементом ударного колебательного контура возбуждения, т. е. определяет величину и скорость нарастания вторичного напряжения, развиваемого системой зажигания. Резистор R ограничивает емкостный ток через участок «коллектор — эмиттер» транзистора в момент отпирания последнего, если конденсатор заряжен.

ЗАЩИТА ВЫХОДНОГО ТРАНЗИСТОРА ОТ ИНВЕРСНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ

После запирания выходного транзистора в первичном контуре катушки зажигания возникает колебательный процесс. В течение действия отрицательной полуволны импульса первичного напряжения транзистор оказывается включенным в инверсном режиме, что недопустимо для некоторых типов транзисторов. Инверсное включение транзистора также возможно в случае несоблюдения полярности источника питания (перепутывания полярности аккумуляторной батареи).

Для защиты выходного транзистора от инверсного включения последовательно в выходную цепь коммутатора включают полупроводниковый диод (рис. 4.28а), рассчитанный на прямой ток, равный по значению току отключения.

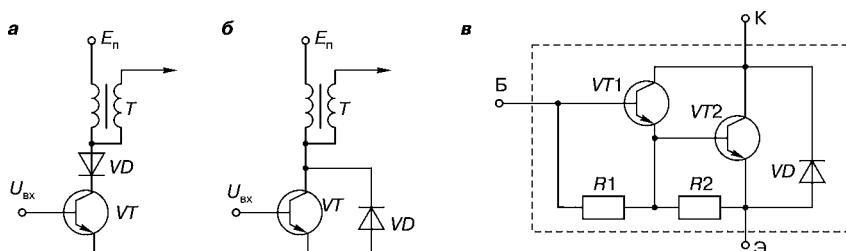


Рис. 4.28
Способы защиты транзистора от инверсного включения:

а — последовательное включение диода; *б* — параллельное включение диода; *в* — микросхема с транзистором Дарлингтона и защитным диодом.

Однако последовательное включение силового диода имеет отрицательные последствия, а именно: увеличение тепловых потерь в выходной цепи коммутирующего транзистора; усложнение конструкции и значительное снижение силы тока отключения в период пуска двигателя при сильно разряженной аккумуляторной батарее.

Другим способом защиты выходного транзистора VT от инверсного включения является включение силового диода VD параллельно участку «коллектор — эмиттер» транзистора (см. рис. 4.28б). При этом включении колебательный процесс после первой полуволны первичного напряжения разрушается и становится апериодическим. Параллельное включение диода позволяет уменьшить падение напряжения в выходной цепи транзистора, рассеиваемую мощность и габариты. Защитный диод выполняется на одном кристалле с выходным транзистором.

На рис. 4.28в приведена схема однокристального транзистора Дарлингтона, выполненного на $VT1$ и $VT2$. Параллельно участку «коллектор — эмиттер» включен мощный диод VD .

4.2.8. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ФОРМИРОВАТЕЛИ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

Совершенствование формирователей амплитуды и длительности импульсов систем зажигания идет несколькими путями. Основной путь — схемотехнический, т. е. совершенствование схемных решений устройств. Другой путь — конструкторско-технологический. Главным здесь является микроминиатюризация систем, основу которой составляет интеграция отдельных устройств в единую микросхему, выполненную по полупроводниковой технологии.

Использование систем с частотно-временными видами модуляции и логических элементов резко улучшает качество систем управления зажиганием.

Внедрение микропрограммных систем управления с кодово-импульсной модуляцией на базе микропроцессора (МП) позволяет переложить на него многие функции по формированию параметров импульса накопления и зажигания. Эти операции выполняются программным путем с использованием материальных ресурсов МП. При этом функции физических формирователей не исчезают, а сами они превращаются в элементы схемы алгоритма обработки и фактически в виртуальные устройства системы зажигания, включенные в МП.

В настоящее время в отечественных системах управления зажиганием применяются аналоговые микросхемы L497 для формирования импульса накопления заданной длительности и BU941ZPF1, которая представляет собой биполярный $n-p-n$ -транзистор Дарлингтона с защитой и внутренним ограничением напряжения «коллектор — эмиттер». Повышение требований к искрообразованию и применение МП привели к необходимости повысить рабочее напряжение и рабочую температуру выходного транзистора усилителя мощности, что удалось обеспечить за счет отказа от активного (линейного) режима выходного транзистора и перевода его исключительно в

ключевой режим. Мощный резистор датчика тока заменен специальным участком на кристалле микросхемы, напряжение на котором пропорционально протекающему току. Напряжение усиливается и может быть преобразовано в код аналог-кодовым преобразователем в составе МП. Конструктивно трансформаторы зажигания совмещаются в едином моноблоке (модуле зажигания) с высоковольтной частью системы зажигания. Это позволяет отказаться от применения механических распределителей высокого напряжения.

Примером реализации рассмотренных идей могут служить высоковольтные ключи, выполненные в виде микросхем VB027ASP, BTS2145 и BTS2165. Две последние схемы изготовлены по технологии IGBT.

Компания ST-Microelectronics выпускает по своей технологии целый ряд интегральных схем для использования в автомобильных системах электронного зажигания. Лучшей схемой является VB027 — мощное согласующее устройство (драйвер) для возбуждения высоковольтных трансформаторов (катушек) системы зажигания, которое позволяет устанавливать начальное напряжение на первичной обмотке катушки и величину предельного тока через катушку, а также совместимо по входу с логическими уровнями, обеспечивая пропорциональный рост тока коллектора транзистора, включенного в первичную обмотку. VB027ASP (рис. 4.29) представляет собой высоковольтную микросхему, предназначенную для управления током отключения КЗ высокой энергии.

Интегральная схема изготавливается по фирменной VIPower технологии с транзисторами Дарлингтона на выходе и совместима с логическими уровнями схемы запуска. Встроенные схемы защиты ограничивают ток в катушке и фиксируют коллекторное напряжение, что позволяет использовать VB027 в качестве интеллектуального, высоковольтного, сильноточного интерфейса в перспективных электронных системах зажигания.

По входу VB027 может управляться от маломощного внешнего контроллера, который формирует как время накопления, так и момент зажигания. При высоком уровне входного сигнала ($U_{\text{вх}} > 4 \text{ В}$) эта микросхема обеспечивает пропорциональное увеличение тока в катушке до заранее заданного уровня,

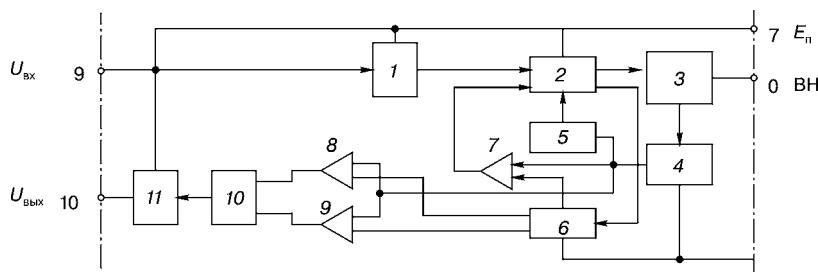


Рис. 4.29
Функциональная схема микросхемы VB027ASP:

1 — формирователь (триггер Шmittта); 2 — регулятор (драйвер); 3 — транзистор Дарлингтона с ограничением напряжения, защищенный от перенапряжения и смешанных полярностей напряжения; 4 — датчик тока; 5 — линеаризатор; 6 — измерительные цепи; 7 — устройство сравнения (компаратор); 8 — компаратор первого уровня тока; 9 — компаратор второго уровня тока; 10 — схема «ИЛИ»; 11 — выходной буферный усилитель.

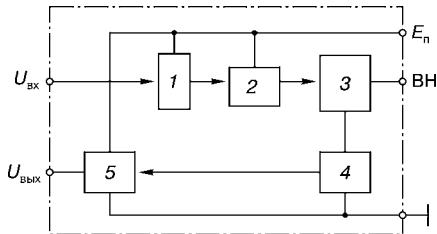


Рис. 4.30
Функциональная схема микросхемы BTS21165:
1 — формирователь (триггер Шмитта); 2 — устройство согласования (драйвер); 3 — IGBT-транзистор с ограничением напряжения, защитой от перенапряжения и смены полярности напряжения; 4 — датчик тока; 5 — выходной буферный усилитель.

после достижения которого ток остается постоянным до момента искрообразования, что соответствует моменту перехода $U_{\text{вх}}$ от высокого уровня к низкому (типовой порог — 1,9 В). В момент отключения тока высокое напряжение на катушке фиксируется на определенном, заранее заданном уровне (обычно 345 В).

При переходе транзистора от режима насыщения к режиму отсечки ток катушки ограничивается и включается защита от перенапряжения, допускается максимальное перенапряжение 20 В.

Ограничение тока в катушке направлено на тепловую защиту. В структурной схеме VB027ASP имеется устройство, называемое противотемпературной защитой, изменяющее текущий уровень сравнения в компараторе на первый диагностический активизирующийся нижний уровень относительно 2,5 А. Информация об этом может поступать в МП и использоваться для управления процессом коррекции в направлении уменьшения рассеиваемой мощности. Данное устройство выполняет контрольно-диагностические функции, обнаруживая повышение тока и перегрев. При понижении текущего уровня сравнения в компараторе (первого флагка) температура не может опуститься ниже 125°C (398 K). Для функционирования этого устройства можно предложить очень простой алгоритм управления, в котором микроконтроллер выполняет простые арифметические действия с целью вычислить момент включения устройства после срабатывания первого порога (первого флагка) компаратора.

Применение МП в качестве устройств обработки и накопления позволяет упростить общую схему системы зажигания и не использовать аналоговую информационную часть микросхем. В качестве устройств обработки информации в формирователях фазы и амплитуды импульса зажигания и накопления — исключить аналоговую систему регулирования. В микросхеме BTS21165 (рис. 4.30) оставлена только силовая часть с датчиком тока.

4.2.9. РАСПРЕДЕЛИТЕЛИ ИМПУЛЬСОВ ЗАЖИГАНИЯ ПО ЦИЛИНДРАМ

Распределение импульсов зажигания по цилиндрам на приемной стороне объединенного канала обратной связи может производиться как высоковольтными, так и низковольтными распределителями. В электронной технике такие распределители называются коммутаторами — одноступенчатыми или многоступенчатыми. На рис. 4.31 приведены схемы распределителей

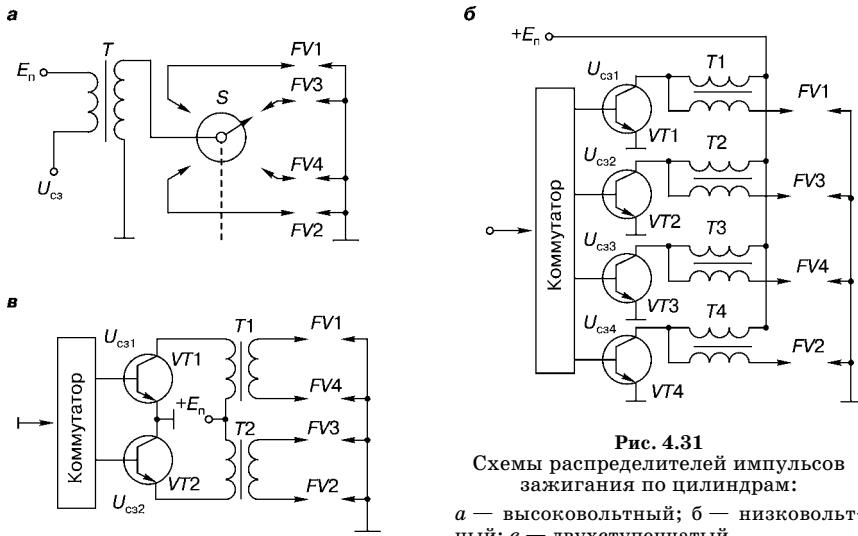


Рис. 4.31
Схемы распределителей импульсов зажигания по цилиндрам:
а — высоковольтный; б — низковольтный;
в — двухступенчатый.

импульсов зажигания по цилиндрам для четырехтактного четырехцилиндрового двигателя.

В настоящее время еще распространены одноступенчатые высоковольтные механические распределители (рис. 4.31а), в которых высоковольтные импульсы зажигания с трансформатора T поступают на центральный контакт переключателя S (распределителя), его вращение синхронизируется коленчатым валом, кинематически связанным с валиком распределителя. В заданные моменты времени происходит соединение боковых контактов с центральным. Импульсы зажигания по высоковольтным проводам подаются на $FV1-FV4$.

Развитие микроэлектроники позволило использовать комбинированные методы разделения каналов передачи импульсов зажигания и перейти к низковольтным дешифраторам разделения каналов. В такой системе (рис. 4.31б) разделение каналов осуществляется низковольтным дешифратором. Далее идет пространственное разделение каналов, и каждый канал имеет индивидуальный коммутирующий ключ $VT1-VT4$ (усилитель мощности) и трансформатор $T1-T4$ с одним высоковольтным выводом вторичной обмотки, что позволяет устанавливать трансформаторы непосредственно на $FV1-FV4$. В такой конструкции могут отсутствовать высоковольтные провода. Управление работой $VT1-VT4$ осуществляется импульсными сигналами $U_{c31}-U_{c34}$, поступающими с коммутатора.

В настоящее время находит применение двухступенчатое распределение импульсов зажигания с использованием двухвыходных трансформаторов (рис. 4.31в). Устройство управления и обработки информации, выполненное на цифровых элементах или микропроцессоре, на первой ступени с помощью низковольтного дешифратора разделяет объединенный канал на два групповых канала — первый и четвертый, а также второй и третий цилиндры. На второй ступени разделение каналов производится с помощью двухвыходных

высоковольтных обмоток $T1-T4$. Искровые промежутки $FV1$ и $FV4$ первого и четвертого цилиндров, моменты зажигания которых смешены на один оборот по коленчатому валу, включаются последовательно. U_{c31} по сигналу «Выбор первой группы каналов» подается на $FV1$ и $FV4$. При этом в одном цилиндре выполняется такт расширения и воспламенение отсутствует, а в другом — такт сжатия и рабочая смесь воспламеняется. Затем U_{c32} по сигналу «Выбор второй группы каналов» поступает одновременно в два цилиндра с $FV2$ и $FV3$, но воспламенение происходит только в одном. Через один оборот воспламенение произойдет в цилиндрах с $FV4$ и $FV1$.

Схему замещения вторичной обмотки трансформатора можно представить в виде двух последовательно включенных сопротивлений и источника высокого напряжения. Высокое напряжение U_b каждой из катушек зажигания распределяется между соответствующей парой цилиндров следующим образом. Например, для первой пары цилиндров имеем $U_b = U_1 + U_4$. Откуда

$$U_1 = U_b \frac{R_1}{R_1 + R_4}; \quad U_4 = U_b \frac{R_4}{R_1 + R_4},$$

где U_1 и U_4 — напряжения, приложенные к искровому промежутку свечей первого и четвертого цилиндров; R_1 и R_4 — сопротивления искрового промежутка свечей первого и четвертого цилиндров.

Поскольку в момент искрообразования первого группового канала поршни первого и четвертого цилиндров находятся в положении, близком к ВМТ, но в различных тактах рабочего цикла ДВС, сопротивления искрового промежутка свечей этих цилиндров не равны между собой.

Пусть, например, в первом цилиндре в рассматриваемый момент завершается такт сжатия, при этом R_1 будет достаточно велико, а в четвертом цилиндре завершается такт выброса высокоионизированных отработавших газов и R_4 будет мало. Тогда из полученных соотношений для данного режима будет: при $R_1 \gg R_4$ напряжение $U_1 \approx U_b$, а $U_4 \approx 0$, т. е. искрообразование произойдет в первом цилиндре. Для противоположного случая при $R_1 \ll R_4$ напряжение $U_1 \approx 0$, а $U_4 \approx U_b$, т. е. искрообразование произойдет в четвертом цилиндре. Аналогичные процессы происходят и во второй паре цилиндров.

В ряде случаев используют четырехвыводные вторичные обмотки трансформаторов. Первичная обмотка такого трансформатора выполнена двухсекционной и имеет вывод со средней точки. Секции обмотки работают по очереди. Высоковольтные импульсы в такой системе разнополярны, разделение цепей осуществляется с помощью высоковольтных диодов. В остальном эта система аналогична представленной на рис. 4.31 σ .

В настоящее время начинают применяться системы зажигания с пространственным разделением каналов на второй ступени распределения высоковольтных импульсов, в которых высоковольтные трансформаторы устанавливаются на каждую свечу. Они называются «системами с непосредственным зажиганием». Их преимуществом является отсутствие высоковольтных проводов.

4.3.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

В дальнейшем под системой зажигания будем понимать электрическую часть системы управления зажиганием.

Отметим, что если основные агрегаты ДВС не претерпевали серьезных конструктивных и функциональных изменений, то системы управления, в том числе и система зажигания, прошли путь развития от примитивных электромеханических устройств до современных микропроцессорных многоуровневых электронных систем управления.

При конструировании систем зажигания осуществляется наполнение функциональных мест на структурно-функциональной схеме конкретными элементами.

В процессе развития систем управления агрегатами автомобиля, в том числе и систем зажигания, можно выделить не менее четырех этапов (поколений), которые определяются исключительно используемым видом модуляции и видом энергии, а отсюда и элементной базой:

- системы зажигания на электромеханических элементах с амплитудной и амплитудно-импульсной модуляцией (К-СЗ — контактные системы зажигания);
- системы зажигания на электромеханических элементах в комбинации с электронными элементами (КТ-СЗ — контактно-транзисторные системы зажигания);
- системы зажигания на электронных и механических элементах с использованием регуляторов амплитуды тока и длительности импульса накопления на аналоговых элементах (БТ-СЗ — бесконтактные системы зажигания);
- системы зажигания на электронных дискретно-кодовых элементах с использованием частотно-импульсных сигналов и кодовой модуляции (цифровые системы), представленные двумя разновидностями: системы с жестким аппаратным управлением и системы с микропрограммным управлением, которые, в свою очередь, делятся на системы с программируемыми запоминающими устройствами и системы с использованием микропроцессоров.

Системы микропрограммного управления (микропроцессорные системы) строятся как объединенные (интегральные) системы управления ДВС, которые управляют как топливно-воздушной, так и системой зажигания.

Основными показателями качества изделий являются объем выполняемых задач, точность, быстродействие, а также стоимость, надежность и затраты на эксплуатацию. Последние часто не учитываются при выборе технических устройств. Самыми ненадежными и дорогими элементами в системе зажигания являются механические и высоковольтные узлы. Стремление повысить качество систем управления приводит к замене механических узлов, а систем зажигания — к сокращению высоковольтных элементов. Процесс совершенствования систем зажигания идет по пути устранения механических

узлов и вытеснения высоковольтных элементов на выход системы, при этом возможно объединение их с разрядниками, устанавливаемыми на головках цилиндров. В настоящее время разработаны системы зажигания, в которых ВИТ заменен пьезоэлектрическим преобразователем. Этот процесс оказывает влияние на теорию и практику применения электронных систем в управлении техническими системами на АТС.

Развитие систем зажигания шло по пути замены аналоговых элементов на более совершенные кодовые (цифровые). Использование конкретных элементов в системе зажигания определяет ее характеристики. Однако необходимо учитывать, что при замещении в функциональной схеме одних элементов другими, имеющими улучшенные параметры, в систему привносятся и отрицательные свойства, присущие этим элементам.

Все характеристики системы определяются используемым в ней видом модуляции, который, в свою очередь, определяет сложность, надежность и затраты на ее изготовление и эксплуатацию. Определяющим фактором в совершенствовании любой системы является переход от аналоговых видов модуляции к кодовым. В электромеханических системах используется исключительно аналоговая (амплитудная) модуляция (АМ). Частотно-временные виды модуляции с непрерывным носителем информационного параметра (ЧМ, ФМ, ВМ), а также с дискретным (импульсным) носителем (ЧИМ, ФИМ, ВИМ, ШИМ) позволяют значительно улучшить характеристики системы управления. И только используя кодовые виды модуляции (КМ, КИМ), можно получить предельные параметры системы управления. В настоящее время в системах зажигания широко применяется амплитудная кодово-импульсная модуляция (АКИМ).

В любой технической системе необходимо выделять три аспекта: схемотехнический, конструкторский и технологический. С момента создания автомобиля идет постоянный процесс совершенствования его конструкции, а также конструкции его элементов и узлов. При воплощении в конструк-

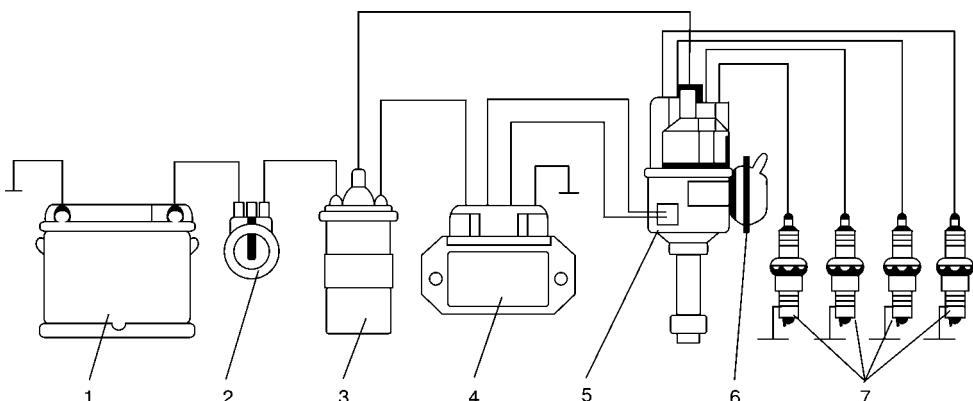


Рис. 4.32
Конструктивная типовая компоновка системы зажигания:

1 — батарея; 2 — выключатель зажигания; 3 — высоковольтный трансформатор; 4 — коммутатор (блок управления); 5 — датчик углового положения; 6 — датчик разрежения; 7 — свечи зажигания.

цию функциональные элементы, в зависимости от элементной базы, могут быть объединены (в различных сочетаниях) в блоки, узлы, агрегаты.

В конструкцию управляющей подсистемы системы управления зажиганием заложен агрегатный (модульный) принцип построения. Длительное время в конструкции батарейной системы зажигания можно было выделить ряд основных узлов (рис. 4.32).

Внедрение микропроцессорных систем управления, исключение механических узлов даже из высоковольтной части привело к появлению разнообразных конструктивных решений.

Широкая номенклатура разработанных и выпускаемых элементов и функциональных узлов позволяет спроектировать любую систему зажигания.

В настоящее время коммутатор и катушки зажигания могут объединяться в единую конструкцию, получившую название «модуль зажигания». Разрабатываются конструкции, в которых КЗ устанавливаются на свечах, что исключает применение высоковольтных проводов.

Технологическую основу производства электронных узлов и элементов составляют гибридная (тонкопленочная и толстопленочная) и полупроводниковая технологии. Последняя является определяющей на современном этапе развития.

4.4.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ И КЛАССИЧЕСКАЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЖИГАНИЕМ

4.4.1.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЖИГАНИЕМ

Эти системы появились на автомобилях первыми и до недавнего времени были широко распространены. Простые и широкодоступные, они получили название «классические батарейные системы зажигания» и относятся к ретросистемам. Сейчас представляют интерес только теоретические основы работы ретросистем зажигания и история их развития.

Функциональная схема электромеханической батарейной системы зажигания приведена на рис. 4.33.

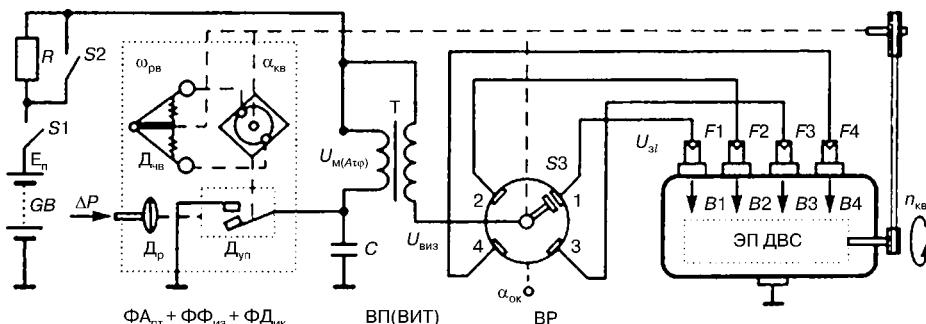


Рис. 4.33
Система управления электромеханической системой зажигания

На схеме показаны энергетические преобразователи ДВС с выходным валом, цепями обратной связи с уплотнением и разделением каналов искрообразования по цилиндрам (управляющей подсистемой). Система управления зажиганием включает:

- датчик углового положения вала $D_{\text{уп}}$ (механоэлектрический преобразователь), кинематически связанный с коленчатым валом ДВС. Он содержит профильный кулачок с выступами по числу цилиндров и контактный преобразователь. Кулачок соединен с распределителем через валик, который связан с коленчатым валом двигателя через зубчатую или зубчато-ременную передачу, причем частота вращения валика кулачка вдвое меньше частоты вращения вала двигателя. Через толкатель из изоляционного материала кулачок связан с контактным преобразователем. $D_{\text{уп}}$ выполняет функции формирователей амплитуды первичного тока $\Phi A_{\text{пп}}$ и длительности импульса накопления датчика $\Phi D_{\text{ин}}$, который в этой системе зажигания совпадает с импульсом накопления $U_n(A\tau)$ первичного тока;
- датчик скорости (частоты вращения) вала $D_{\text{чв}}$ с центробежным преобразователем, связанный с механическим преобразователем линейного перемещения грузов во вращательное движение оси кулачка;
- датчик разряжения (нагрузки) D_p . Он содержит мембранный преобразователь с тягой, соединенный с пластиной, на которой закреплена ось подвижного контакта датчика $D_{\text{уп}}$.

Также в нее входят:

- высоковольтный импульсный трансформатор T (катушка зажигания) с высоковольтным импульсом зажигания $U_{\text{вих}}$ на выходе;
- высоковольтный механический распределитель $S3$;
- свечи зажигания $F1-F4$, число которых равно числу цилиндров.

$D_{\text{уп}}$, $D_{\text{чв}}$, D_p и их преобразователи выполняют функции фазовращателей и сумматора (формирователя $\Phi\Phi_{\text{из}}$). Они формируют фазу или угол опережения зажигания, реализуя зависимости $\phi_{\text{оз}} = \phi_n + \phi_q + \phi_p$ или $\alpha_{\text{оз}} = \alpha_n + \alpha_{\text{чв}} + \alpha_{\text{наг}}$. Для уменьшения искрения контактов $D_{\text{уп}}$ они шунтируются конденсатором C .

Использование контактного датчика углового положения вала дало название этой системе — «контактная система зажигания» (КСЗ).

Для уменьшения тепловых потерь в трансформаторе T путем ограничения тока используется резистор R (добавочное сопротивление). При запуске двигателя одновременно с включением стартера резистор закорачивается выключателем $S2$, чем достигается увеличение вторичного напряжения трансформатора, что облегчает пуск. При нормальной работе на добавочном сопротивлении падает часть напряжения так, что к первичной обмотке КЗ подходит напряжение от 7 до 8 В, на которое она рассчитывается. Напряжение питания E_n поступает на систему зажигания от батареи GB через выключатель $S1$.

Принципиальная электрическая схема контактной управляемой подсистемы системы управления зажиганием приведена на рис. 4.34.

Работает система зажигания следующим образом. При вращении профильного кулачка 9 его выступы нажимают через толкатель на контактный преобразователь 8 . Контакты замыкаются, и на выходе преобразователя формируется положительный импульс напряжения U_n , амплитуда которого

определяется напряжением E_n , а длительность — профилем кулачка, частотой вращения валика и зазором между контактами. Мощность начального импульса определяется сопротивлением первичной цепи трансформатора 5 и свойствами контактного преобразователя. U_n определяет переходный процесс в трансформаторе. При окончании импульса происходит ударное возбуждение связанных контуров, состоящих из первичной и вторичной цепей трансформатора.

В результате переходного процесса во вторичной обмотке индуцируются высоковольтные импульсы зажигания $U_{31}-U_{34}$. Они подводятся к бегунку 11 распределителя, а затем через боковые контакты 12 и высоковольтные провода подаются на свечи 13 соответствующих цилиндров. $F1-F4$ обеспечивают искровой пробой и необходимую температуру для воспламенения горючей смеси.

С увеличением частоты вращения коленчатого вала растет скорость движения поршня, и для того чтобы смесь успела сгореть, угол опережения зажигания тоже должен увеличиваться. Эту операцию осуществляет центробежный преобразователь (см. рис. 4.35а), включающий $D_{\text{чв}}$ и механическое суммирующее устройство, выполненное в виде механизма, изменяющего положение кулачка $D_{\text{уп}}$ на оси валика.

Под действием центробежной силы, зависящей от частоты вращения, грузики 6 датчика смещаются в сторону от оси и поворачивают траверсу 5, жестко связанную с кулачком 1, при этом центробежная сила преодолевает силу противодействующей пружины, определяющей начало работы преобразователя. Пример зависимости характеристики угла опережения зажигания $\Phi_{\text{чв}}$ от частоты вращения n приведен на рис. 4.35а.

С увеличением нагрузки двигателя наполнение цилиндров и давление в конце сжатия увеличиваются, процесс сгорания ускоряется. Следовательно, с увеличением открытия дроссельной заслонки угол опережения зажигания должен уменьшаться. Изменение угла опережения зажигания по нагрузке двигателя $\Phi_{\text{наг}}$ осуществляется по сигналу с D_p вакуумным мембранным преобразователем. Вакуумная камера мембранных преобразователя соединена с впускным трактом двигателя за дроссельной заслонкой. При увеличении нагрузки дроссельная заслонка открывается, давление за ней снижается и мембрана датчика 12 через шток 8 поворачивает пластину с контактом 3 относительно кулачка 1 в сторону уменьшения угла опережения зажигания. Максимальный угол опережения по нагрузке лежит в пределах $15-25^\circ$ по углу поворота коленчатого вала.

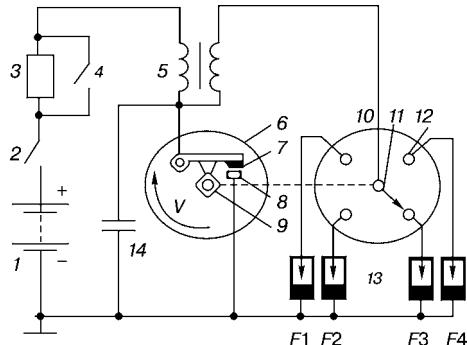


Рис. 4.34
Контактная управляющая подсистема
системы управления зажиганием:

1 — аккумуляторная батарея; 2, 4 — контакты выключателя зажигания; 3 — добавочный резистор; 5 — трансформатор; 6 — контактный датчик; 7, 8 — подвижный и неподвижный контакт преобразователя датчика; 9 — кулачок; 10 — распределитель; 11 — бегунок; 12 — подвижные контакты; 13 — свечи; 14 — конденсатор.

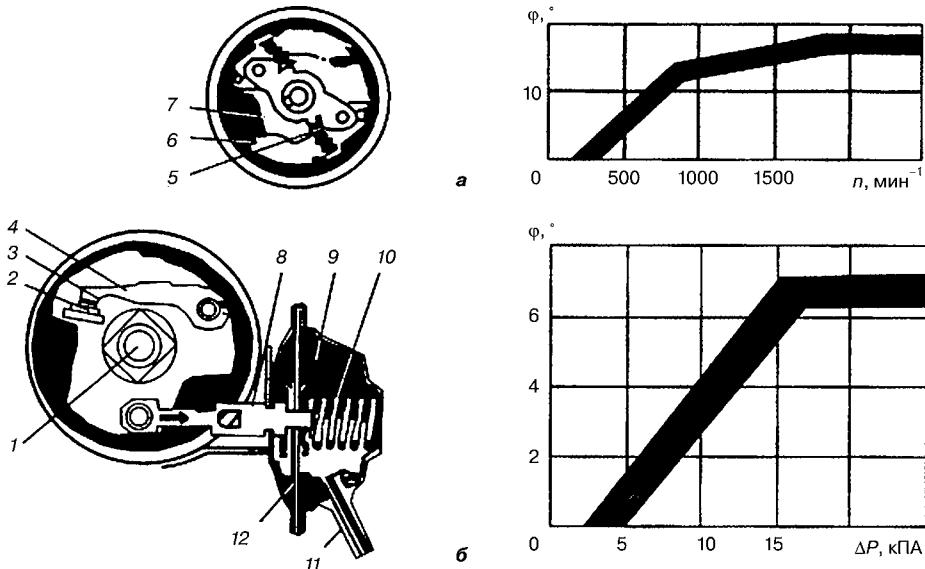


Рис. 4.35
Конструктивные схемы механических преобразователей формирования фазы импульсов зажигания и их характеристики:

a — центробежный преобразователь; *б* — вакуумный преобразователь; ϕ — угол опережения зажигания; n — частота вращения приводного валика распределителя; ΔP — разрежение; 1 — кулачок; 2 — неподвижный контакт; 3 — подвижный контакт; 4 — рычажок; 5 — траверса; 6 — грузики; 7 — подвижная пластина; 8 — шток; 9 — вакуумная камера; 10 — пружина; 11 — штуцер; 12 — мембрана.

Конструктивно датчики $D_{\text{уп}}$, $D_{\text{чв}}$, $D_{\text{наг}}$ и высоковольтный распределитель выполнены в виде отдельного узла с общим приводным синхронизирующим валиком. Этот узел называют «прерыватель-распределитель».

Если октановое число топлива не соответствует степени сжатия двигателя, то даже при оптимальной начальной установке угла опережения зажигания, соответствующей максимальной мощности двигателя, в нем может возникнуть детонация — чрезвычайно быстрое сгорание рабочей смеси, подобное взрыву.

Для установки начального угла опережения зажигания или корректировки угла опережения зажигания в зависимости от октанового числа топлива корпус распределителя делается подвижным и вручную разворачивается в ту или иную сторону. При применении топлива с меньшим октановым числом корпус поворачивается в сторону уменьшения угла опережения зажигания. Такое устройство называется «октан-корректор».

4.4.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КЛАССИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ЗАЖИГАНИЯ

Система зажигания (СЗ) предназначена для надежного и своевременного воспламенения рабочей смеси в цилиндрах двигателя импульсами высокого напряжения, распределения их по свечам цилиндров в соответствии с порядком, фазой и режимом работы двигателя (частотой вращения и нагрузкой).

Источником высокого напряжения служит катушка зажигания: потребляя ток низкого напряжения аккумуляторной батареи, она преобразует его в ток высокого напряжения (12–30 кВ).

Искровой заряд, образующийся между электродами свечи, должен обладать необходимой энергией, обеспечивающей надежное воспламенение рабочей смеси на всех режимах работы двигателя.

Напряжение, при котором происходит искровой разряд между электродами свечи, называют пробивным. Оно зависит от зазора между электродами свечи, давления смеси (степени сжатия) и температуры газов. Пробивное напряжение увеличивается с повышением степени сжатия и расстояния между электродами и снижается с повышением температуры рабочей смеси. Для степени сжатия $\Sigma = 7\text{--}7,5$ при пуске необходимо напряжение пробоя 16–18 кВ, а на установившемся рабочем режиме — 12–14 кВ. Для $\Sigma = 8,5\text{--}10$ соответственно 13–15 кВ. Система зажигания должна развивать рабочее напряжение, превышающее пробивное не менее чем в 1,5 раза. В процессе эксплуатации напряжение пробоя увеличивается за счет округления кромок электродов свечи и увеличения зазора между ними.

Электрическая искра вызывает появление в ограниченном объеме рабочей смеси первых активных центров. Воспламенение рабочей смеси является началом бурной реакции окисления топлива, сопровождающейся выделением тепла.

От мощности искры и момента зажигания рабочей смеси в значительной степени зависят экономичность и устойчивость работы двигателя, а также токсичность отработанных газов. На прогретом двигателе к моменту искрообразования рабочая смесь сжата и имеет температуру, близкую к температуре самовоспламенения. В этом случае достаточно незначительной энергии электрического разряда — порядка 1–5 мДж. Однако при пуске холодного двигателя, работе на обедненных смесях ($\alpha = 1,1\text{--}1,2$) при частичном открытии дроссельной заслонки, на холостом ходу, при резких открытиях дроссельной заслонки требуются значительная энергия искры — порядка 30–100 мДж, и продолжительность порядка 2 мс, чтобы пробить зазор в свече 0,6–1,1 мм.

Для повышения мощности, экономичности и уменьшения токсичности двигателя СЗ должна автоматически устанавливать оптимальный угол опережения зажигания (изменять установочный угол) в зависимости от различных скоростных и нагрузочных режимов работы и других параметров (состава и температуры смеси двигателя, состава выпускных газов, а также на режимах пуска, разгона и торможения двигателем).

Момент зажигания характеризуется углом поворота коленчатого вала, он отсчитывается от положения вала в момент подачи искры до положения, когда поршень проходит ВМТ. Он должен выбираться с таким расчетом, чтобы смесь, сгорая, развивала максимальное давление сразу после прохода поршнем ВМТ. Рабочая смесь сгорает в течение определенного времени. Сразу после электрического разряда происходит скрытый период горения, в течение которого давление в цилиндре, обусловливаемое горением, еще не повышается. Затем следует период видимого горения, при котором фронт пламени распространяется со скоростью 20–40 м/с и резко повышается давление газов.

4.4.3. ПРИНЦИП РАБОТЫ КЛАССИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Классическая система батарейного зажигания с одной катушкой и многоскровым механическим распределителем до сих пор находит широкое применение в современных автомобилях.

Главным достоинством этой системы является ее простота, обеспечивающая двойной функцией механизма распределителя: прерывание цепи постоянного тока для генерирования высокого напряжения и синхронное распределение высокого напряжения по цилиндрям двигателя. Принципиальная схема классической системы зажигания приведена на рис. 4.36.

Элементы схемы:

- источник тока — аккумуляторная батарея 1;
- катушка зажигания (индукционная катушка) 2, которая преобразует ток низкого напряжения в ток высокого напряжения. Между первичной и вторичной обмотками имеет место автотрансформаторная связь;
- прерыватель 3, содержащий рычажок 4 с подушечкой 5 из текстолита, поворачивающийся около оси; контакты прерывателя 6;
- кулачок 7 с числом граней, равным числу цилиндров. Неподвижный контакт прерывателя присоединен к «массе»; подвижный контакт укреплен на конце рычажка. Если подушечка не касается кулачка, контакты замкнуты под действием пружины. Когда подушечка находится на грани кулачка, контакты размыкаются. Прерыватель управляет размыканием и замыканием контактов и моментом подачи искры;
- конденсатор первичной цепи 8, подключенный параллельно контактам 6, который является составным элементом колебательного контура в первичной цепи после размыкания контактов;
- распределитель 9, включающий бегунок 10, крышку 11 с неподвижными боковыми электродами 12 (их столько же, сколько цилиндров двигателя) и неподвижный центральный электрод, который подключается через высоковольтный провод к катушке зажигания. Боковые электроды через высоковольтные провода соединяются с соответствующими свечами зажигания. Высокое напряжение к бегунку 10 подается через центральный электрод с помощью скользящего угольного контакта. На бегунке имеется электрод 13, который отделен воздушным зазором от боковых электродов 12. Бегунок распределителя и кулачок 7 прерывателя находятся на одном валу, который приводится во вращение зубчатой передачей от распределительного вала двигателя с частотой, вдвое меньшей частоты вращения коленчатого вала. Прерыватель и распределитель находятся в одном аппарате, называемом распределителем зажигания;
- свечи зажигания 15, число которых равно числу цилиндров двигателя;
- выключатель зажигания 16;
- добавочный резистор 17, который уменьшает тепловые потери в катушке зажигания, дает возможность усилить зажигание (при пуске двигателя он шунтируется контактами реле 18 одновременно с включением стартера);

- добавочный резистор изготавливают из никрома или константана и наматывают на керамический изолатор.

При вращении кулачка 7 контакты 6 попеременно замыкаются и размыкаются. После замыкания контактов (в случае замкнутого выключателя 16) через первичную обмотку катушки зажигания 2 протекает ток, нарастаая от нуля до определенного значения за данное время замкнутого состояния контактов. При малых частотах вращения валика 14 распределителя 9 ток может нарастать до установившегося значения, определенного напряжением аккумуляторной батареи и омическим сопротивлением первичной цепи

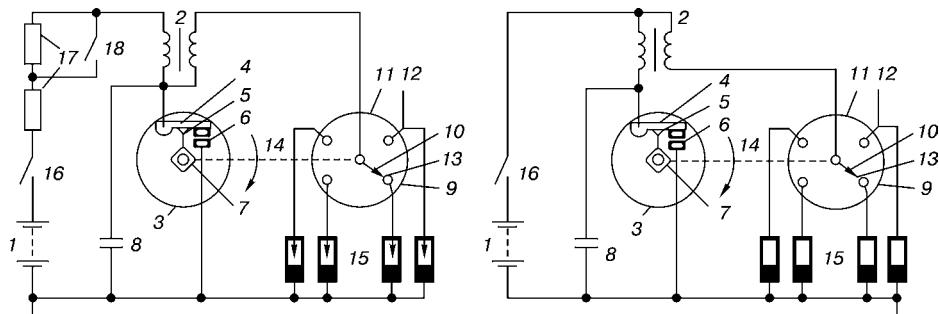


Рис. 4.36
Классическая система зажигания

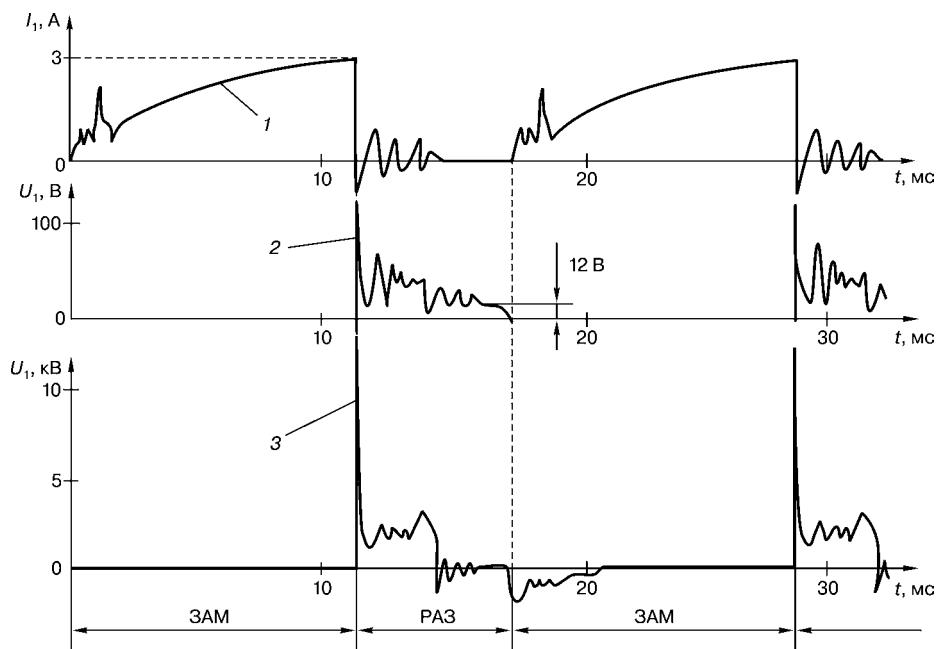


Рис. 4.37
Сигналы цепей системы зажигания:

1 — первичный ток; 2 — импульс первичного напряжения; 3 — импульс вторичного напряжения; ЗАМ — контакты замкнуты; РАЗ — контакты разомкнуты.

(установившийся ток). Протекание первичного тока вызывает образование магнитного потока, сцепленного с витками первичной и вторичной обмоток, и накопление электромагнитной энергии.

После размыкания контактов прерывателя как в первичной, так и во вторичной обмотке индуцируется ЭДС самоиндукции. Согласно закону индукции, вторичное напряжение тем больше, чем быстрее исчезает магнитный поток, созданный током первичной обмотки, больше первичный ток в момент разрыва и больше число витков во вторичной обмотке. В результате переходного процесса во вторичной обмотке возникает напряжение, достигающее 15–20 кВ.

В первичной обмотке также индуцируется ЭДС самоиндукции, доходящая до 200–400 В, направленная в ту же сторону, что и первичный ток, и стремящаяся задержать его исчезновение. При отсутствии конденсатора 8 ЭДС самоиндукции вызывает образование между контактами прерывателя во время их размыкания сильной искры (точнее дуги). При наличии конденсатора 8 ЭДС самоиндукции создает ток, заряжающий конденсатор. В следующий период времени конденсатор разряжается через первичную обмотку катушки и аккумуляторную батарею. Таким образом, конденсатор 8 практически устраняет искрообразование в прерывателе, обеспечивая долговечность контактов и индицирование во вторичной обмотке достаточно высокой ЭДС.

Вторичное напряжение подводится к бегунку распределителя, а затем через электроды в крышке и высоковольтные провода поступает к свечам соответствующих цилиндров.

На рис. 4.37 приведены характеристики электрических сигналов в первичной и вторичной цепях системы зажигания.

4.4.4. РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС БАТАРЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Нормальным рабочим режимом любой системы батарейного зажигания, использующей индукционную катушку в качестве источника высокого напряжения, является переходный режим, в результате образуется искровой разряд в свече зажигания. Рабочий процесс может быть разбит на три этапа:

1. Замыкание контактов прерывателя. Происходит подключение первичной обмотки КЗ (накопителя) к источнику тока. Этап характеризуется нарастанием первичного тока и, как следствие, накоплением электромагнитной энергии, запасаемой в магнитном поле катушки.

2. Размыкание контактов прерывателя. Источник тока отключается от КЗ. Первичный ток исчезает, и накопленная электромагнитная энергия преобразуется в электростатическую. Возникает ЭДС высокого напряжения во вторичной обмотке.

3. Пробой искрового промежутка свечи. В рабочих условиях при определенном значении напряжения происходит пробой искрового промежутка свечи с последующим разрядным процессом.

Рабочий процесс рассмотрим на примере классической системы зажигания.

На 1-м этапе вторичная цепь практически не влияет на процесс нарастания первичного тока. Токи и напряжения во вторичной цепи при относительно малой скорости нарастания первичного тока незначительны. Вторичную цепь можно считать разомкнутой. Первичный конденсатор замкнут накоротко контактами К. Схема замещения для данного рабочего этапа приведена на рис. 4.38.

Процесс нарастания первичного тока согласно второму закону Кирхгофа описывается дифференциальным уравнением

$$U_6 = L_1 \frac{dI_1}{dt} + I_1 R_1,$$

где U_6 — напряжение аккумуляторной батареи; L_1 — индуктивность первичной обмотки; R_1 — полное сопротивление первичной цепи, представляющее собой сумму активного сопротивления первичной обмотки, сопротивления добавочного резистора и проводов; dI_1/dt — скорость нарастания первичного тока.

Его решением является уравнение вида

$$I_1 = \frac{U_6}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{R_1 t}{L_1}}\right),$$

где $L_1/R_1 = \tau$ — постоянная времени первичного контура; e — основание натуральных логарифмов.

В начальный момент времени при $t = 0$ ток $I = 0$, при этом скорость нарастания первичного тока $(dI_1/dt)_{t=0} = U_6/L_1$ максимальна и не зависит от сопротивления R_1 .

При $t = \infty$ ток достигает установившегося значения $I_1 = U_6/R_1$, а скорость его изменения равна нулю $(dI_1/dt)_{t=\infty} = 0$.

Для современных автомобильных катушек зажигания первичный ток достигает своего максимального значения примерно за 0,02 с.

Во время нарастания тока в первичной обмотке наводится ЭДС самоиндукции:

$$e_{C1} = -L_1 \frac{dI_1}{dt} = -U_6 e^{\frac{t}{\tau}}.$$

ЭДС самоиндукции убывает по экспоненциальному закону. При $t = 0$ $e_{C1} = -U_6$, а при $t = \infty$ $e_{C1} = 0$. Во вторичной обмотке индуцируется ЭДС взаимоиндукции:

$$e_{B2} = -M \frac{dI_1}{dt} = -\frac{M}{L_1} U_6 e^{\frac{t}{\tau}},$$

где M — взаимоиндукция.

ЭДС взаимоиндукции мала по величине и также изменяется по экспоненциальному закону.

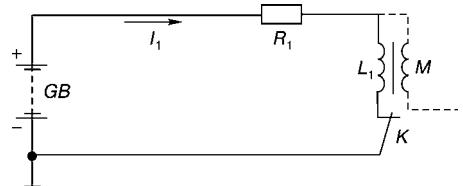


Рис. 4.38
Схема замещения классической системы зажигания после замыкания контактов прерывателя

В некоторый момент времени контакты размыкаются. Величина тока разрыва при прочих равных условиях зависит от времени замкнутого состояния контактов t_3 :

$$I_p = \frac{U_6}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right),$$

которое, в свою очередь, зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя n , числа цилиндров z , профиля кулачка, т. е. соотношения между углом замкнутого и разомкнутого состояния контактов.

Частота размыкания контактов при четырехтактном двигателе, или число искр в секунду, определяется по формуле

$$f = \frac{zn}{2 \cdot 60}.$$

Время полного периода работы прерывателя:

$$T = t_3 + t_p = \frac{120}{zn},$$

где t_p — время разомкнутого состояния контактов.

Если обозначить относительное время замкнутого и разомкнутого состояния контактов соответственно $\tau_3 = t_3/T$; $\tau_p = t_p/T$, то

$$t_3 = \tau_3 T = \tau_3 \frac{120}{zn}.$$

Аналитическое выражение тока разрыва примет вид

$$I_p = \frac{U_6}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{t_3}{\tau_3 n}}\right).$$

Таким образом, ток разрыва уменьшается с увеличением частоты вращения и числа цилиндров и увеличивается с увеличением относительного времени замкнутого состояния контактов, которое определяется геометрией кулачка и от частоты вращения не зависит. Ток разрыва зависит также от параметров первичной цепи: он прямо пропорционален напряжению батареи U_6 , возрастает с уменьшением R_1 и уменьшается с увеличением индуктивности L_1 .

Величина электромагнитной энергии, запасаемая в магнитном поле катушки зажигания к моменту размыкания контактов, определяется выражением

$$W_M = \frac{L_1 I_1}{2} = 0,5 L_1 (1 - 2e^{-a} + e^{-2a}),$$

где $a = \frac{R_1}{L_1} t_3$.

Если это уравнение продифференцировать по L_1 и приравнять к нулю, то можно определить значение a для получения наибольшей запасаемой электромагнитной энергии от источника постоянного тока с напряжением U_6 :

$$a = \frac{R_1}{L_1} t_3 = 1,256.$$

Это условие для обычной классической системы зажигания не может быть соблюдено, так как t_3 есть величина переменная и в зависимости от частоты вращения двигателя изменяется в широких пределах. Поэтому на большинстве режимов работы КЗ в диапазоне малых (холостой ход) и средних частот вращения двигателя вследствие больших значений t_3 ток в первичной обмотке, достигнув установившегося значения, бесполезно нагревает катушку зажигания и R_d .

Чтобы найти потери в первичной цепи, необходимо вычислить величину действующего значения тока, которая определяется из выражения

$$I_{1d} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_3} I_1^2 dt} = \frac{U_6}{R_1} \sqrt{\frac{t_3}{T}} \sqrt{1 - \frac{1}{2a} (e^{-a} - 3)(e^{-a} - 1)}.$$

Отыскав по этой формуле величину I_{1d} , находят мощность потерь $P_{1\text{пот}}$, которая рассеивается в первичной обмотке катушки зажигания, на добавочном сопротивлении и в проводах:

$$P_{1\text{пот}} = I_{1d}^2 R_1 = \frac{U_6^2}{R_1} \frac{t_3}{T} \left[1 - \frac{1}{2a} (e^{-a} - 3)(e^{-a} - 1) \right].$$

2-й этап. После окончания процесса накопления в момент зажигания контакты прерывателя размыкают цепь, тем самым прерывая первичный ток. В этот момент магнитное поле исчезает и в первичной и во вторичной обмотках катушки индуцируется напряжение. По закону индукции напряжение, индуцируемое во вторичной обмотке, тем выше, чем больше коэффициент трансформации и величина первичного тока в момент его прерывания.

При выводе расчетных формул для подсчета первичного и вторичного напряжений воспользуемся упрощенной схемой замещения, приведенной на рис. 4.39.

Итак, имеем два магнитосвязанных контура, каждый из которых содержит емкость ($C1, C2$), индуктивность ($L1, L2$), эквивалентное сопротивление ($R1, R2$). Во вторичный контур включены шунтирующее сопротивление R_n и сопротивление потерь R_n , имитирующие утечки тока на свече и магнитные потери.

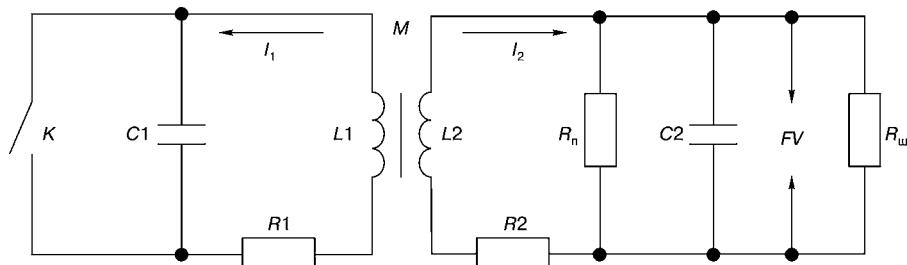


Рис. 4.39
Схема замещения классической системы зажигания
после размыкания контактов прерывателя

В момент размыкания контактов прерывателя электромагнитная энергия, запасенная в катушке, преобразуется в энергию электрического поля $C1$ и $C2$ и частично превращается в тепло. Величину максимального вторичного напряжения можно получить из уравнения электрического баланса в контурах первичной и вторичной цепей, пренебрегая потерями в них:

$$\frac{L1I_p}{2} = \frac{C1U_{1m}^2}{2} + \frac{C2U_{2m}^2}{2},$$

где U_{1m} , U_{2m} — соответственно максимальные значения первичного и вторичного напряжения. Заменяя

$$U_{1m} = \frac{W1}{W2} U_{2m},$$

где $W1$ и $W2$ — число витков первичной и вторичной обмоток КЗ, получим аналитическое выражение для расчета максимальной величины вторичного напряжения:

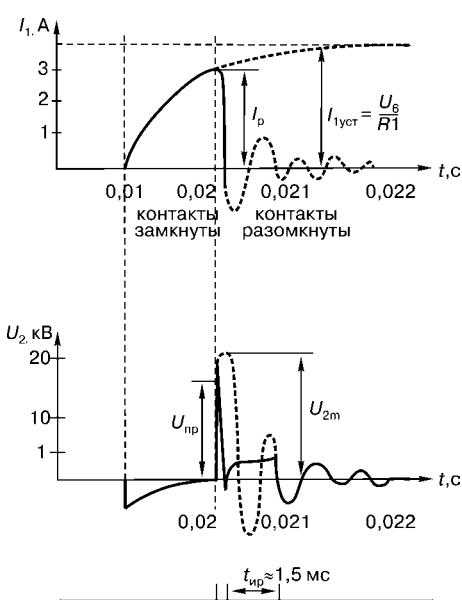


Рис. 4.40
Переходные процессы
в системе зажигания

где $W1/W2$ — коэффициент трансформации катушки зажигания; η_3 — коэффициент затухания, величина которого для контактных систем составляет 0,75–0,85.

Изменение первичного тока I_1 и вторичного напряжения U_2 в процессе работы прерывателя показано на рис. 4.40.

При размыкании контактов прерывателя I_1 совершают несколько периодов затухающих колебаний до тех пор, пока энергия, запасенная в магнитном поле катушки, не израсходуется на джоулево тепло в сопротивлении R_1 контура.

$$U_{2m} \approx I_p \sqrt{\frac{L1}{C1\left(\frac{W1}{W2}\right)^2 + C2}}.$$

Оно не учитывает потери:

- энергии в сопротивлении нагара, шунтирующего искровой промежуток свечи;
- магнитные — в стали;
- электрические — в искровом промежутке распределителя и в дуге на контактах прерывателя.

Указанные потери приводят к снижению величины вторичного напряжения. На практике для учета потерь в контурах вводят в виде множителя коэффициент η_3 , выражющий уменьшение максимума напряжения из-за потерь энергии:

$$U_{2m} \approx I_p \frac{W2}{W1} \sqrt{\frac{L1}{C1 + C2\left(\frac{W2}{W1}\right)^2 \eta_3}},$$

Если искровой промежуток вторичной цепи сделать настолько большим, чтобы пробоя не произошло (режим холостого хода или открытой цепи), то U_2 аналогично I_1 совершил несколько затухающих колебаний.

3-й этап. Для зажигания рабочей смеси электрическим способом необходимо образование электрического разряда между двумя электродами свечи, которые находятся в камере сгорания. Протекание электрического разряда в газовом промежутке может быть представлено вольт-амперной характеристикой (рис. 4.41).

Участок $0-a-b$ соответствует несамостоятельному разряду. Напряжение возрастает, ток остается практически неизменным и по величине ничтожно мал. При дальнейшем увеличении напряжения скорость движения ионов по направлению к электродам увеличивается. При начальном напряжении U_n начинается ударная ионизация, т. е. такой разряд, который, однажды возникнув, не требует для своего поддержания воздействия постороннего ионизатора. Если поле равномерное, то процесс поляризации сразу перерастает в пробой газового промежутка. Если поле неравномерное, то вначале возникает местный пробой газа около электродов в местах с наибольшей напряженностью электрического поля, достигшей критического значения. Этот тип разряда называется короной и соответствует устойчивой части вольт-амперной характеристики $b-c$. При дальнейшем повышении напряжения корона захватывает новые области межэлектродного пространства, пока не произойдет пробой (точка c), когда при достижении напряжением величины пробивного напряжения U_{pr} между электродами проскаивает искра. Она создает между электродами сильно нагретый ионизированный канал. Температура в канале разряда радиусом 0,2–0,6 мм превышает 10 000 К. Сопротивление канала зависит от величины протекающего по нему тока.

Дальнейшее развитие процесса зависит от параметров газового промежутка цепи источника энергии. Может иметь место или тлеющий разряд (участок $d-e$), когда токи малы, или дуговой разряд (участок $m-n$), когда токи велики вследствие большой мощности источника тока и малого сопротивления цепи. Оба эти разряда являются самостоятельными и соответствуют устойчивым участкам вольт-амперной характеристики. Тлеющий разряд характеризуется токами от 10^{-5} до 10^{-1} А и практически неизменным напряжением разряда, дуговой разряд — значительными токами при относительно низких напряжениях на электродах.

На 2-м этапе был рассмотрен процесс формирования вторичного напряжения при отсутствии электрического разряда в свече. В действительности U_{pr} ниже U_{2m} , развиваемого системой зажигания; поэтому, как только возрастающее напряжение достигает величины U_{pr} , в свече происходит искровой разряд и колебательный процесс обрывается.

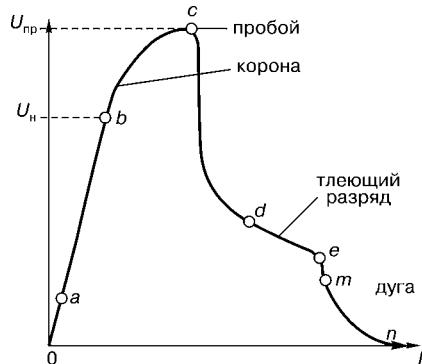


Рис. 4.41
Вольт-амперная характеристика разряда в воздушном промежутке

Электрический разряд имеет две составляющие: емкостную и индуктивную. Емкостная составляющая искрового разряда представляет собой разряд энергии, накопленной во вторичной цепи, обусловленный ее емкостью. Емкостный разряд характеризуется резким падением напряжения и резкими всплесками токов, по величине достигающих десятков ампер.

Несмотря на незначительную энергию емкостной искры, мощность, развиваемая искрой, благодаря кратковременности процесса (около 1 мкс) может достигать десятков и даже сотен киловатт. Емкостная искра имеет яркий голубоватый цвет и сопровождается специфическим треском.

Высокочастотные колебания (10^6 – 10^7 Гц) и большой ток емкостного разряда вызывают сильные радиопомехи и эрозию электродов свечи. Для уменьшения эрозии электродов свечи (в неэкранированных системах — и для уменьшения радиопомех) во вторичную цепь (в крышку распределителя, бегунок, наконечники свечи, провода) включается помехоподавляющий резистор. Поскольку искровой разряд происходит раньше, чем вторичное напряжение достигает своего максимального значения U_{2m} , а именно при напряжении $U_{\text{пр}}$, на емкостный разряд расходуется лишь небольшая часть магнитной энергии, накопленной в сердечнике катушки зажигания. Оставшаяся часть энергии выделяется в виде индуктивного разряда. В условиях, свойственных работе распределителей и разрядников, и при обычных параметрах катушек зажигания индуктивный разряд всегда происходит на устойчивой части вольт-амперной характеристики, соответствующей тлеющему разряду. Ток индуктивной части разряда составляет 20–40 мА. Напряжение между электродами свечи сильно понижается и слагается в основном из катодного падения напряжения E_k и падения напряжения в положительном столбце $E\delta$:

$$U_{\text{пр}} = U_k + E\delta,$$

где E — напряженность поля в положительном столбце ($E \approx 100$ В/мм); δ — расстояние между электродами; $U_k = 220$ – 330 В.

Продолжительность индуктивной составляющей разряда на 2–3 порядка выше емкостной и достигает в зависимости от типа КЗ величины зазора между электродами свечи и режима работы двигателя (пробивного напряжения) 1–1,5 мс. Искра имеет бледный фиолетово-желтый цвет. Эта часть разряда получила название «хвост» искры.

За время индуктивного разряда в искровом промежутке свечи выделяется энергия, величина которой может быть определена аналитически:

$$W_{\text{ип}} = \int_0^{t_{\text{пр}}} U_{\text{пр}} I_2(t) dt.$$

На практике широко используется приближенная формула для подсчета энергии искрового разряда:

$$W_{\text{ип}} = 0,5 U_{\text{пр}} I_{\text{ип}} t_{\text{ип}}.$$

Расчеты и эксперименты показывают, что при низких частотах вращения двигателя энергия индуктивного разряда $W_{\text{ип}}$ для обычных классических автомобильных систем зажигания составляет 15–20 мДж.

4.4.5. ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАССИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

МАКСИМАЛЬНОЕ ВТОРИЧНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Приведенные выше аналитические выражения для вторичного напряжения показывают, что величина U_{2m} зависит от величины тока разрыва I_p и, следовательно, определяется режимом работы и типом двигателя (n, z), рабочей прерывателя t_3 , параметрами первичной цепи ($L1, R1, C1, U_b$), а также связана с параметрами вторичного контура и внешней нагрузки ($C2, W2/W1, R_{ш}, C_{ш}$).

Зависимость U_{2m} от частоты вращения и числа цилиндров двигателя. Время замкнутого состояния контактов составляет

$$t_3 = \frac{\alpha}{6n},$$

где α — угол замкнутого состояния контактов; n — частота вращения валика распределителя.

Из выражения видно, что с возрастанием частоты вращения t_3 уменьшается и ток разрыва становится меньше, что влечет за собой снижение величины U_{2m} . Увеличение числа цилиндров двигателя, при всех прочих равных условиях и параметрах системы зажигания, также уменьшает t_3 замкнутого состояния контактов и снижает вторичное напряжение.

На рис. 4.42 приведены характеристики максимального вторичного напряжения и тока разрыва в функции частоты вращения коленчатого вала двигателя и числа цилиндров двигателя.

Характеристики носят монотонный убывающий характер, причем закон убывания жестко детерминирован параметрами первичной цепи ($t_1 = L1/R1$) и величиной угла замкнутого состояния контактов.

Уменьшение величины U_{2m} на низких частотах вращения связано с дугобразованием на контактах прерывателя.

Увеличения тока разрыва можно добиться за счет увеличения же угла замкнутого состояния контактов, что достигается соответствующим профи-

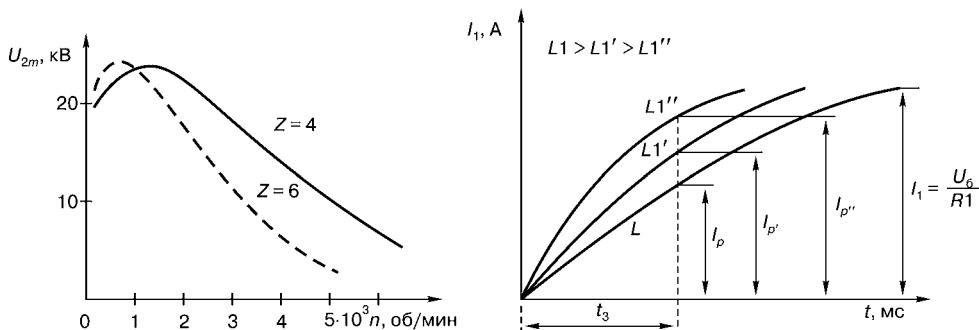


Рис. 4.42
Типовые рабочие характеристики
классической системы зажигания для 4- и 6-цилиндровых двигателей

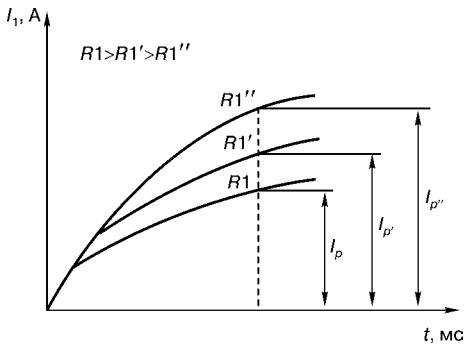


Рис. 4.43
Кривые нарастания первичного тока при различных значениях сопротивления первичной цепи

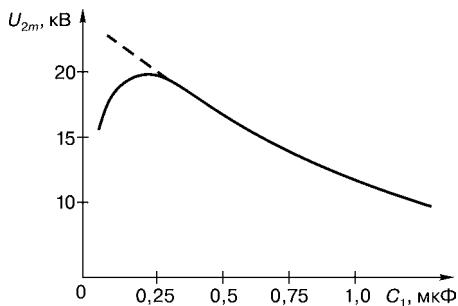


Рис. 4.44
Зависимость вторичного напряжения от емкости конденсатора в первичной цепи

лированием кулачка. Однако по механическим соображениям увеличить время замкнутого состояния контактов прерывателя больше чем до 60–65% времени полного периода ($t_3 = 0,60\text{--}0,65$) практически невозможно.

На некоторых зарубежных двигателях применяют две независимые схемы с двумя прерывателями и катушкой, работающими на один распределитель. При этом относительная замкнутость может достигать 0,85.

Величина первичного тока и скорость его нарастания зависят от постоянной времени первичного контура ($\tau_1 = L1/R1$) (рис. 4.43).

Чем меньше эта величина, тем быстрее нарастает ток до установившегося значения. Скорость нарастания тока обратно пропорциональна индуктивности $L1$:

$$\frac{dI_1}{dt} = \frac{U_6}{L1} e^{-\frac{R1}{L1}t},$$

а при

$$t = 0 \left(\frac{dI_1}{dt} \right)_{t=0} = \frac{U_6}{L1}.$$

Однако уменьшение индуктивности целесообразно лишь до определенного значения, ниже которого начинает сокращаться запас электромагнитной энергии, определяющий величину вторичного напряжения. Уменьшение индуктивности, в свою очередь, также сильно уменьшает значение вторичного напряжения при низких частотах, вследствие чего ухудшаются условия пуска.

При неизменной индуктивности первичной цепи величина тока разрыва увеличивается с уменьшением сопротивления $R1$, так как увеличивается установившееся значение тока. При различных значениях сопротивления первичной цепи скорость нарастания тока в начальный момент одинакова, т. е. $dI_1/dt = U_6/L1$. Однако чем меньше сопротивление $R1$, тем выше идет кривая тока.

Таким образом, для увеличения максимального вторичного напряжения необходимо уменьшать сопротивление первичной цепи. Однако чрезмерное

уменьшение $R1$ приводит к увеличению установившегося тока, что ухудшает работу контактов при низких частотах вращения и способствует перегреву катушки.

С уменьшением емкости конденсатора $C1$ вторичное напряжение должно увеличиваться и при $C1 = 0$ оно достигает максимального значения (рис. 4.44).

Такой характер изменения U_{2m} имеет место лишь при больших значениях $C1$. В диапазоне малых емкостей по мере их уменьшения вторичное напряжение также уменьшается. Это явление объясняется тем, что при малой величине емкости не устраняется дугообразование на контактах, вызывающее значительные потери энергии. Характер зависимости вторичного напряжения от емкости конденсатора первичной цепи показывает, что существует оптимальное значение $C1$, определяемое условиями гашения дуги на контактах. На практике оно выбирается в пределах 0,15–0,35 мкФ.

Значение максимального вторичного напряжения также обусловлено емкостью вторичной цепи. Величина $C2$ зависит от длины и расположения высоковольтных проводов, от емкости свечи зажигания, собственной емкости вторичной обмотки КЗ и практически не может быть меньше 40–75 пКФ. В случае экранирования системы зажигания емкость вторичной цепи увеличивается до 150 пКФ. Следовательно, экранирование, применяемое для существенного снижения радиопомех, значительно уменьшает значение вторичного напряжения.

В процессе работы двигателя изолятор свечи нередко покрывается нагаром, который создает проводящий мостик между электродами свечи. Этот проводящий слой нагара можно представить в виде резистора $R_{ш}$, шунтирующего воздушный зазор. В результате наличия $R_{ш}$ нарастающее после размыкания контактов вторичное напряжение создает во вторичной цепи ток, называемый током утечки, который, циркулируя во вторичной цепи до пробоя искрового промежутка, вызывает падение напряжения во вторичной обмотке и уменьшение подводимого к свече напряжения. При малой величине шунтирующего сопротивления ток утечки возрастает и вторичное напряжение может понизиться до величины, меньшей пробивного напряжения, т. е. искра не возникнет.

В случае отсутствия утечек величина U_{2m} при прочих равных параметрах возрастает с увеличением коэффициента трансформации катушки $W2/W1$ (рис. 4.45), стремясь к своему пределу:

$$U_{2m} = I_p \sqrt{\frac{L1}{C1}}.$$

При бесконечно большом сопротивлении нагара вся электромагнитная энергия трансформируется в электростатическую энергию вторичной цепи.

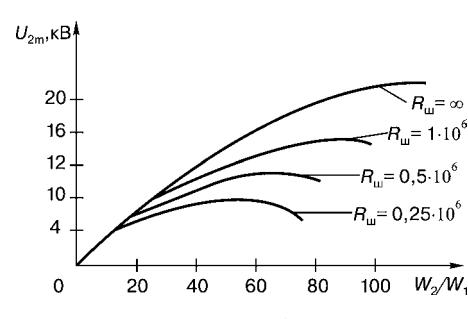


Рис. 4.45
Зависимость вторичного напряжения от коэффициента трансформации катушки

Однако если $R_{\text{ш}} \neq \infty$, то каждому значению шунтирующего сопротивления соответствует оптимальный коэффициент трансформации, при котором напряжение вторичной цепи максимально. Оптимальным для существующих систем зажигания при индуктивности первичной обмотки 6,5–9,5 мГн является отношение $W2/W1 = 55–95$.

ЭНЕРГИЯ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА

Энергия искрового разряда может быть представлена в виде

$$W_{\text{ир}} = \frac{L1I_p}{2}\eta_e,$$

где η_e — коэффициент передачи запасенной энергии в энергию искры.

Этот коэффициент в основном определяется степенью магнитной связи между первичной и вторичной обмотками КЗ. В рамках традиционной конструкции цилиндрической катушки с аксиально расположенными первичной и вторичной обмотками и разомкнутым магнитопроводом η_e составляет 0,35–0,45.

Из вышеприведенного выражения следует, что увеличение энергетического уровня искрового разряда сводится к необходимости повышения индуктивности $L1$ катушки зажигания либо тока разрыва I_p . Для классических систем зажигания величина I_p ограничивается пределом 3,5–4,0 А, а его превышение приводит к резкому снижению ресурса контактов.

Увеличение частоты вращения двигателя вызывает снижение энергии искрового разряда вследствие уменьшения тока разрыва, а значит, и запаса электромагнитной энергии в первичной цепи.

Увеличение индуктивности $L1$ ограничивается условием обеспечения бесперебойного искрообразования на максимальных частотах вращения:

$$L1 = -\frac{U_6}{I_{1\text{уст}}} \frac{120\tau_3}{n_{\max} z} \frac{1}{\ln \left[1 - \frac{(U_{2m})_{n_{\max}}}{(U_{2m})_{n_{\min}}} \right]},$$

где n_{\max} — максимальная частота вращения двигателя; $(U_{2m})_{n_{\max}}$ — необходимый уровень максимального вторичного напряжения на максимальной частоте вращения; $(U_{2m})_{n_{\min}}$ — то же на минимальной частоте вращения.

4.4.6. НЕДОСТАТКИ КЛАССИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Классическая система зажигания обладает рядом достоинств, к которым следует отнести простоту конструкции и невысокую стоимость аппаратов зажигания, возможность регулирования угла опережения зажигания в широких пределах без изменения величины вторичного напряжения.

Вместе с тем она имеет ряд принципиальных недостатков, связанных с работой механического прерывателя и механических автоматов опережения зажигания:

- недостаточная величина вторичного напряжения на высоких и низких частотах вращения коленчатого вала двигателя и, как следствие, малый

коэффициент запаса по вторичному напряжению, особенно для многоцилиндровых и высокооборотных двигателей, а также при экранировке высоковольтных проводов;

- недостаточная энергия искрового разряда по причине ограничения уровня запасенной энергии в первичной цепи;
- чрезмерный нагрев КЗ в зоне низких частот вращения коленчатого вала двигателя и особенно при остановившемся двигателе, если замок зажигания включен и контакты прерывателя замкнуты;
- нарушение рабочего зазора в контактах в процессе эксплуатации и, как следствие этого, необходимость зачистки контактов, т. е. систематический уход во время эксплуатации;
- низкий срок службы контактов прерывателя;
- повышенный асинхронизм момента искрообразования по цилиндрям двигателя при эксплуатации вследствие износа кулачка;
- высокая погрешность момента искрообразования вследствие разброса характеристик механических автоматов опережения в процессе эксплуатации.

Перечисленные недостатки классической системы зажигания приводят в итоге к ухудшению процесса сгорания рабочей смеси, а следовательно, к потере мощности двигателя и увеличению эмиссии отработанных газов.

4.5. ЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЖИГАНИЕМ

4.5.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ КОНТАКТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЖИГАНИЕМ

При работе контактной системы зажигания происходят сложные электромагнитные процессы. Для анализа системы зажигания и определения основных расчетных соотношений используют упрощенные модели (схемы замещения) для различных режимов работы системы зажигания (рис. 4.46).

Основным рабочим режимом любой системы зажигания, использующей импульсный трансформатор в качестве источника высокого напряжения,

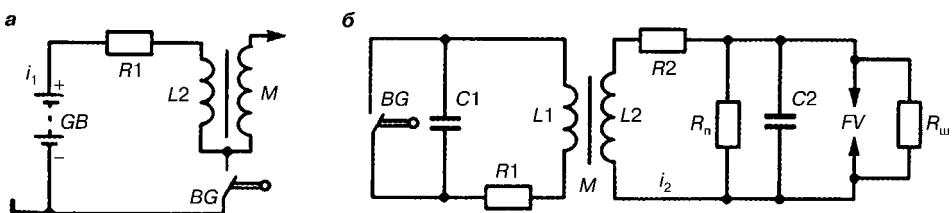


Рис. 4.46

Схемы замещения контактной системы зажигания:

а — после замыкания контактов датчика; *б* — после размыкания контактов датчика (прерывателя).

является переходный режим, в котором образуется искровой разряд в свече зажигания. Рабочий процесс может быть разбит на три этапа.

1. Замыкание контактов контактного преобразователя датчика. На этом этапе происходит формирование импульса накопления электромагнитной энергии, запасаемой в электромагнитном поле обмоток трансформатора и реактивных элементах первичной цепи. Амплитуда импульса определяется напряжением батареи, а длительность — параметрами датчика и частотой вращения вала;

2. Размыкание контактов контактного преобразователя датчика. Источник тока отключается от катушки зажигания. Ток в первичной цепи исчезает, в результате электромагнитных процессов накопления потенциальная энергия превращается в электрическую энергию переменного тока с резонансной частотой. Во вторичной обмотке наводится высокое напряжение.

3. Пробой искрового промежутка свечи. В рабочих условиях при определенном значении вторичного напряжения происходит пробой искрового промежутка свечи с последующим разрядным процессом.

На 1-м этапе вторичная цепь практически не влияет на процесс нарастания тока в первичной цепи. Токи и напряжения во вторичной цепи при относительно малой скорости нарастания первичного тока незначительны. Вторичную цепь можно считать разомкнутой. Первичный конденсатор замкнут накоротко контактами *BG*. Схема замещения для данного рабочего режима приведена на рис. 4.46а.

Процесс нарастания тока в первичной цепи согласно второму закону Кирхгофа описывается дифференциальным уравнением

$$E_6 = L_1 \frac{di_1}{dt} + i_1 R_1, \quad (4.5)$$

где E_6 — напряжение батареи; L_1 — индуктивность первичной обмотки; di_1/dt — скорость нарастания тока в первичной обмотке; R_1 — полное сопротивление первичной цепи.

Решением этого уравнения является выражение

$$i_1 = \frac{E_6}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{R_1 t}{L_1}}\right) \text{ или } i_1 = \frac{E_6}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right), \quad (4.6)$$

где $\tau_1 = L_1/R_1$ — постоянная времени первичного контура.

К началу размыкания контактов сила тока в первичной обмотке составит

$$I_o = \frac{E_6}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{\tau_1}{\tau_1}}\right). \quad (4.7)$$

Величина тока первичной цепи определяется временем протекания тока через обмотку и параметрами первичной цепи.

Частота размыкания контактов датчика, связанного с распределительным валом, для четырехтактного двигателя:

$$f = \frac{zn_{KB}}{2 \cdot 60}. \quad (4.8)$$

Полный период работы датчика:

$$T = t_3 + t_p = \frac{120}{zn_{\text{кв}}}. \quad (4.9)$$

Если обозначить коэффициент заполнения импульсов, определяющих время замкнутого и разомкнутого состояний контактов, соответственно через $\gamma_3 = t_3/T$ и $\gamma_p = t_p/T$, то время замкнутого состояния контактов будет определяться выражением

$$t_3 = \gamma_3 T = \gamma_3 \frac{120}{zn_{\text{кв}}}.$$

Время замкнутого состояния контактов t_3 может быть выражено через угол поворота валика распределителя:

$$t_3 = \frac{\alpha_{\text{зам}}}{6n_p}, \quad (4.10)$$

где $\alpha_{\text{зам}}$ — угол замкнутого состояния контактов датчика; n_p — частота вращения валика распределителя.

Аналитическое выражение для тока отключения примет вид

$$I_o = \frac{E_6}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{\gamma_3 120}{\tau_1 z n_{\text{кв}}}}\right). \quad (4.11)$$

Таким образом, ток отключения уменьшается с увеличением частоты вращения вала и числа цилиндров и увеличивается с увеличением скважности импульса замкнутого состояния контактов, которая определяется геометрией кулачка и от частоты вращения вала не зависит. Ток отключения зависит также от параметров первичной цепи: он прямо пропорционален напряжению батареи, возрастает с уменьшением сопротивления и уменьшается с увеличением индуктивности.

2-й этап. После окончания процесса накопления энергии контакты датчика размыкают цепь. Ток в первичной обмотке прерывается. В этот момент магнитное поле начинает исчезать.

В первичной и вторичной обмотках трансформатора индуцируется напряжение. По закону индукции напряжение, индуцируемое во вторичной обмотке, тем выше, чем больше коэффициент трансформации и первичный ток в момент прерывания. Время размыкания контактов соответствует моменту зажигания.

При выводе основных расчетных формул для определения первичного и вторичного напряжения используем упрощенную схему замещения (рис. 4.46б). Такая модель имеет два магнитосвязанных колебательных контура, каждый из которых содержит емкость (C_1 — конденсатор первичной цепи, C_2 — распределительная емкость вторичной цепи), индуктивность (L_1 , L_2 — индуктивности соответственно первичной и вторичной обмоток трансформатора зажигания), эквивалентное активное сопротивление (R_1 , R_2 — суммарные активные сопротивления соответственно первичной и вторичной цепей). Во вторичный контур включены шунтирующее сопротивление $R_{\text{ш}}$

и сопротивление потерь $R_{\text{п}}$, имитирующие утечки тока на свече и магнитные потери.

В момент размыкания контактов датчика электромагнитная энергия, запасенная в индуктивностях, преобразуется в энергию электрического поля $C1$ и $C2$, частично превращаясь в теплоту. В результате процесса перезаряда реактивных элементов в системе возникают затухающие колебания. При этом сила тока первичной обмотки будет изменяться по косинусоидальному закону, а напряжение — по синусоидальному. Через четверть периода при силе тока $i_1 = 0$ вся энергия магнитного поля преобразуется в энергию электромагнитного поля конденсаторов. Следовательно, в этот момент напряжения u_1 и u_2 достигнут максимальных значений. Для вторичного напряжения можно записать

$$u_2(t) = \frac{I_0}{\omega C} k_{\text{tp}} k e^{-\delta t}, \quad (4.12)$$

где

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L_1 C_s} - \frac{1}{4R_s^2 C_s^2}}$$

— частота собственных электрических колебаний;

$$C_s = C_1 + C_2 k_{\text{tp}}^2$$

— эквивалентная емкость системы зажигания, приведенная к первичной обмотке; C_1 — емкость первичной цепи; C_2 — распределенная емкость вторичной цепи; $k_{\text{tp}} = W_2/W_1$ — коэффициент трансформации (W_1, W_2 — число витков первичной и вторичной обмоток);

$$R_s = \frac{R_{\text{п}} R_{\text{ш}}}{R_{\text{п}} + R_{\text{ш}}} \frac{1}{k_{\text{tp}}^2}$$

— эквивалентное сопротивление потерь системы зажигания; $R_{\text{ш}}$ — сопротивление, шунтирующее искровой промежуток свечи; $R_{\text{п}}$ — сопротивление потерь в системе;

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

— коэффициент магнитной связи между обмотками; M — коэффициент взаимоиндукции; L_1, L_2 — индуктивности первичной и вторичной обмоток;

$$\delta = \frac{1}{2RC}$$

— коэффициент затухания колебательного процесса.

Значение максимального вторичного напряжения можно получить из уравнения электрического баланса в контурах первичной и вторичной цепей

$$\frac{L_1 I_0^2}{2} = \frac{C_1 U_{1m}^2}{2} + \frac{C_2 U_{2m}^2}{2} + \Delta W, \quad (4.13)$$

где U_{1m}, U_{2m} — максимальное значение соответственно первичного и вторичного напряжений; ΔW — потери энергии в колебательных контурах.

Напряжение на первичной обмотке можно выразить следующим образом:

$$U_{1m} = \frac{U_{2m}}{k_{tp}}.$$

Тогда уравнение электрического баланса примет вид

$$L_1 I_o^2 = \left(C_1 \frac{1}{k_{tp}^2} + C_2 \right) U_{2m}^2 + \Delta W. \quad (4.14)$$

Решая это уравнение и пренебрегая потерями энергии и взаимоиндукцией, получим выражение для максимального значения вторичного напряжения

$$U_{2m} = I_o k_{tp} \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 k_{tp}^2}}. \quad (4.15)$$

Последнее выражение не учитывает потери энергии в сопротивлении натара, шунтирующего искровой промежуток свечи, магнитные потери в стали, электрические потери в искровом промежутке распределителя и в дуге на контактах прерывателя, которые приводят к снижению вторичного напряжения. На практике для учета потерь в контурах вводят в виде множителя коэффициент η , выражющий уменьшение максимального напряжения из-за потерь энергии

$$U_{2m} = I_o k_{tp} \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 k_{tp}^2}} \eta, \quad (4.16)$$

где

$$\eta = -\exp \left(\operatorname{arctg} \sqrt{\frac{4R_3^2}{L_1}} - \frac{1}{\left(\frac{4R_3^2 C_3}{L_2} - 1 \right)} \right).$$

Коэффициент η для контактных систем составляет 0,75–0,85.

При размыкании контактов первичный ток i_1 совершает несколько периодов затухающих колебаний до тех пор, пока энергия, запасенная в магнитном поле катушки, не израсходуется на нагрев сопротивления R_1 контура первичной цепи (см. рис. 4.46a).

Если искровой промежуток вторичной цепи сделать настолько большим, чтобы пробоя не произошло, то вторичное напряжение U_2 , так же как и первичный ток, совершил несколько затухающих колебаний.

3-й этап. В тот момент, когда значение вторичного напряжения достигает величины пробивного напряжения свечи зажигания, происходит пробой ее искрового промежутка.

Искровой разряд на свече представляет собой сложное явление, в котором можно отметить два момента: разряд емкости и разряд индуктивности. Электрические разрядные процессы определяют воспламеняющую способность искры, эрозию электродов свечи и электромагнитные помехи.

Важным параметром системы зажигания является энергия искрового разряда. Для определения энергии искрового разряда можно использовать выражение

$$P_{\text{ир}} = \frac{L_1 I_o^2}{2} \eta_s, \quad (4.17)$$

где η_s — коэффициент передачи запасенной энергии в энергию искры ($\eta_s = 0,35\text{--}0,45$).

Основной характеристикой контактной системы зажигания является зависимость $U_{2m} = f(n_{\text{кв}})$, которая определяется выражением

$$U_{2m} = \frac{E_6}{R_1} \left[1 - \exp \left(-\frac{120\gamma_s}{\tau_1 z n_{\text{кв}}} \right) k_{\text{тр}} \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 k_{\text{тр}}^2}} \eta \right]. \quad (4.18)$$

Из последнего уравнения следует, что вторичное напряжение пропорционально току отключения.

С увеличением частоты вращения ток I_o уменьшается вследствие уменьшения t_s . Поэтому вторичное напряжение, пропорциональное току I_o , также уменьшается с увеличением частоты $n_{\text{кв}}$. При установке системы зажигания на двигатель с большим числом цилиндров t_s также будет уменьшаться вследствие неизбежного уменьшения угла замкнутого состояния контактов $\alpha_{\text{зам}}$.

При малой частоте вращения ток отключения достигает установленного значения E_6/R_1 . Поэтому U_{2m} теоретически должно быть максимальным, однако действительное вторичное напряжение значительно меньше теоретического, что объясняется потерями запасенной энергии на дугообразование между контактами датчика. При снижении частоты вращения коленвала время горения дуги и потери энергии увеличиваются. Наличие шунтирующего сопротивления во вторичной цепи эквивалентно повышению потерь в системе, что снижает вторичное напряжение, развиваемое системой зажигания. Напряжение U_{2m} уменьшается с увеличением эквивалентной емкости системы, т. е. C_1 и C_2 . Несмотря на это, включение первичного конденсатора определенной емкости способствует увеличению вторичного напряжения вследствие быстрого гашения дуги. Напряжение U_{2m} можно увеличить путем повышения L_1 . Однако это напряжение неизбежно уменьшится при большей частоте вращения коленчатого вала.

К достоинствам контактной системы зажигания относят простоту конструкций и невысокую стоимость. Однако при этом не учитывают эксплуатационные расходы, которые могут превышать стоимость системы в несколько раз.

К недостаткам контактной системы зажигания можно отнести следующие:

- с увеличением частоты вращения и числа цилиндров двигателя уменьшается вторичное напряжение;
- механические контакты датчиков ограничивают уровень первичного тока, а следовательно, и энергию искрового разряда;
- эрозия и коррозия контактов датчиков приводят к уменьшению срока их службы и нарушению установленного угла зажигания;

- имеет место повышенная погрешность момента зажигания по цилиндрам двигателя вследствие износа кулачка;
- отмечается чрезмерный нагрев катушки зажигания при низкой частоте вращения коленчатого вала двигателя;
- контактная система зажигания является источником электромагнитных помех.

Для их снижения применяется экранирование, которое приводит к увеличению емкости вторичной цепи, поэтому при экранировании нельзя обеспечить запас надежности на всех режимах работы двигателя.

4.5.2. КОНТАКТНО-ТРАНЗИСТОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗАЖИГАНИЕМ. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЕЕ УЗЛОВ

К этому классу относятся контактно-транзисторная система зажигания с транзисторным коммутатором ТК 102 А (рис. 4.47), которая предназначена для 8-цилиндровых карбюраторных двигателей с неэкранированным электрооборудованием и является смешанной системой.

В ней электронные элементы включены в электромеханическую систему. Конструктивно она состоит из типовых узлов стандартного состава и компоновки (рис. 4.48).

Система содержит транзисторный коммутатор, в который входит усилитель мощности УМ на одном транзисторе V1; распределитель зажигания (Р13-Д или Р4-Д), в который входят датчик Д с контактным преобразователем (прерыватель) 1 и кулачком, выполняющим функции формирователя длительности импульса накопления ФД, высоковольтный распределитель (ВР) 3,

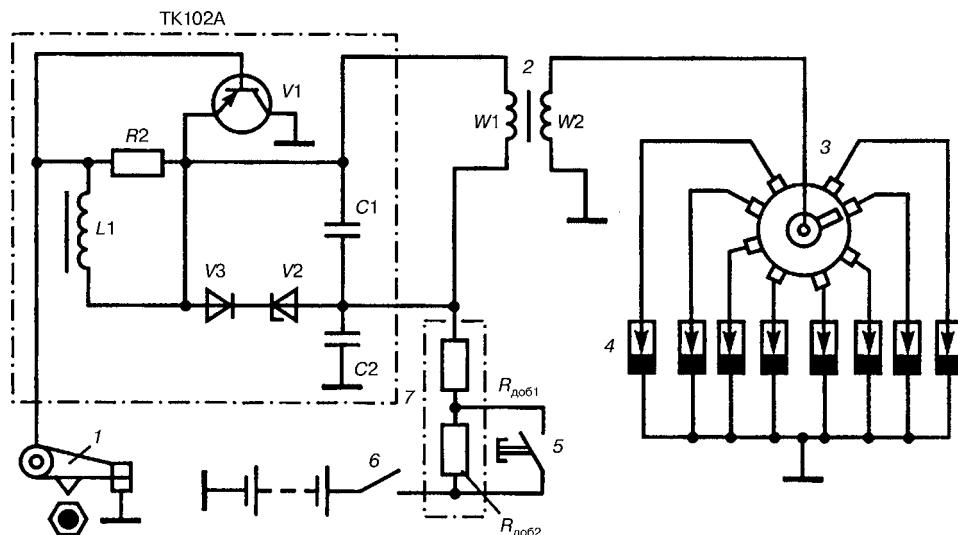


Рис. 4.47

Принципиальная электрическая схема контактно-транзисторной системы зажигания с транзисторным коммутатором ТК 102 А

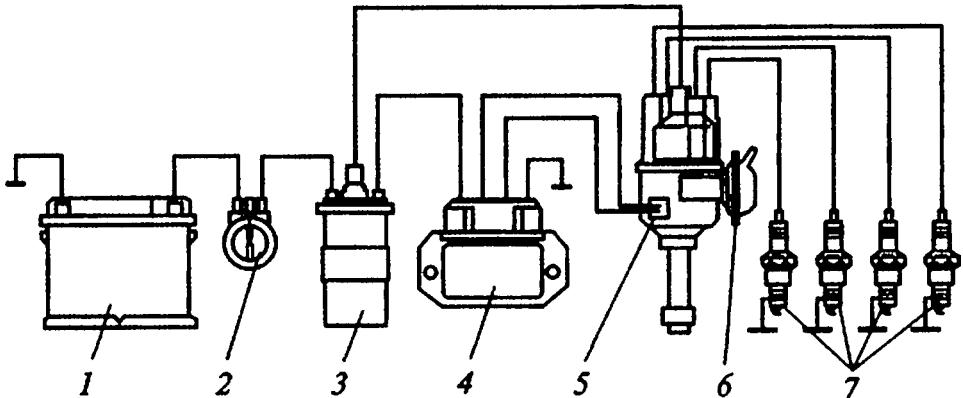


Рис. 4.48
Конструктивная типовая компоновка системы зажигания:

1 — батарея; 2 — выключатель зажигания; 3 — высоковольтный трансформатор; 4 — коммутатор (блок управления); 5 — датчик углового положения; 6 — датчик разрежения; 7 — свечи зажигания.

механический формирователь фазы импульса зажигания ФФ с двумя автоматическими фазовращателями (на схеме не показан); свечи зажигания 4 (*FV1—FV8*), индуктивный накопитель энергии Н(Л) — высоковольтный импульсный трансформатор зажигания 2 (Б114); выключатель зажигания 6; блок резисторов 7 (СЭ107), выполняющий роль формирователя (ограничителя) амплитуды тока отключения ФА, состоящего из двух резисторов $R_{\text{доб1}}$ (0,5 Ом) и $R_{\text{доб2}}$ (0,5 Ом); выключатель 5 добавочного резистора. Применяемый ФФ можно рассматривать как двухпараметрический механический фазовращатель с формированием фазы импульса зажигания по абсолютным значениям параметров (частоты вращения и нагрузки).

Транзисторный коммутатор состоит из германиевого транзистора *V1* (ГТ701А), стабилитрона *V2* (817В), диода *V3* (КД105), дросселя *L1*, конденсаторов *C1* (1 мкФ) и *C2* (50 мкФ), резистора *R2* (20 Ом). Система питается от аккумуляторной батареи напряжением 12 В. Первичная обмотка *W1* трансформатора зажигания включена в цепь эмиттера транзистора *V1*, а контакты датчика 1 — в цепь его базы.

Работает система следующим образом. При включенном зажигании и замкнутых контактах датчика коммутирующий транзистор усилителя находится в открытом состоянии, так как к его базе через контакты датчика 1 подается отрицательный потенциал. Ток (7 А) будет проходить по первичной цепи: «+» аккумуляторной батареи, выключатель зажигания, коллектор — эмиттер транзистора, «-» аккумуляторной батареи. При размыкании контактов датчика на базе транзистора исчезает открывавший сигнал и транзистор запирается. Одновременно прекращается ток через *L1*, на его выводах появляется импульсное напряжение, создающее положительный потенциал на базе относительно эмиттера, что ускоряет переход транзистора в замкнутое состояние.

Запирание транзистора приводит к быстрому уменьшению тока в первичной обмотке трансформатора зажигания, что обусловливает его возбуж-

дение и появление импульса выходного напряжения во вторичной обмотке. Высокое напряжение высоковольтным ротором распределителя подается на свечи цилиндров двигателя. Путь тока во вторичной цепи: высоковольтный вывод вторичной обмотки трансформатора зажигания, центральный высоковольтный провод, высоковольтный распределитель напряжения, свеча зажигания, корпус, вторичная обмотка $W2$ трансформатора зажигания.

Коммутирующий транзистор имеет специальную защиту, состоящую из $V3$ и $V2$, которая предохраняет транзистор от пробоя напряжения самоиндукции, возникающей в первичной обмотке при запирании транзистора. Если напряжение самоиндукции превышает 100 В, происходит пробой $V2$ и повышенное напряжение гасится на $V3$. Кроме того, диод препятствует протеканию тока от батареи к транзистору через стабилитрон, минуя первичную обмотку. Для снижения мощности тока в цепи стабилитрона предусмотрен $C1$, который заряжается от напряжения самоиндукции в первичной обмотке при запирании транзистора. Когда напряжение самоиндукции не достигает опасного значения и пробоя стабилитрона не происходит, этот конденсатор уменьшает потери мощности в транзисторе в период его запирания, что снижает нагрев транзистора.

Электролитический конденсатор $C2$ включен параллельно генератору и аккумуляторной батарее, защищая транзистор от импульсных перенапряжений, которые могут возникнуть в бортовой сети автомобиля при включении мощных потребителей или отключении аккумуляторной батареи при работающем двигателе. В этом случае импульс повышенного напряжения будет заряжать $C2$, что предотвратит воздействие повышенного напряжения на транзистор.

$R_{\text{доб}1}$ и $R_{\text{доб}2}$ разгружают трансформатор от повышенной тепловой нагрузки. При замыкании ключом 5 $R_{\text{доб}2}$ во время работы стартера облегчается пуск двигателя.

Коэффициент трансформации трансформатора зажигания $W2/W1 = 235$. Распределитель зажигания отличается от стандартного только отсутствием конденсатора, шунтирующего контакты датчика.

Включение коммутирующего транзистора (усилителя мощности) последовательно с контактным преобразователем датчика обусловило ряд особенностей в протекании рабочих процессов и вызвало дополнительные требования к параметрам трансформатора зажигания. Наполнение функциональных мест в структурной формуле конкретным содержанием определяет характеристики системы. Включение транзистора в тракт обусловило и ряд отрицательных свойств. Транзистор требует защиты от перенапряжения, что усложняет схему системы. Однако положительных свойств у этой системы больше, чем отрицательных, поэтому она является актуальной.

Рабочий процесс в транзисторной системе зажигания протекает в два этапа:

1. Отпирание транзистора. После подачи тока управления в базу выходного транзистора последний отпирается и через проводящий участок «коллектор — эмиттер» подключает первичную обмотку трансформатора к источнику

тока. Начинается процесс нарастания и накопления энергии в магнитном поле первичной обмотки. Первичный ток нарастает по экспоненциальному закону

$$i_1 = \frac{E_6 - U_{\text{кэ нас}}}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{R_1}{L_1} t}\right), \quad (4.19)$$

где $U_{\text{кэ нас}}$ — падение напряжения на участке «коллектор — эмиттер» насыщенного транзистора ($U_{\text{кэ нас}} = 0,5\text{--}0,7$ В для германиевых и $1\text{--}1,5$ В для кремниевых транзисторов).

Выражение (4.19) для первичного тока аналогично выражению для первичного тока контактной системы зажигания с той только разницей, что в нем учтены потери в насыщенном коммутационном транзисторе.

Ток отключения I_o в момент выключения выходного транзистора зависит от параметров первичной цепи R_1 и L_1 , а также времени его включеного состояния:

$$i_1 = \frac{E_6 - U_{\text{кэ нас}}}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{R_1}{L_1} t_h}\right). \quad (4.20)$$

Для контактно-транзисторной и бесконтактной систем зажигания с постоянной длительностью времени накопления энергии выражение для тока отключения примет вид

$$i_1 = \frac{E_6 - U_{\text{кэ нас}}}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{R_1 \tau_3 120}{L_1 z^n}}\right). \quad (4.21)$$

Выражение (4.21) с учетом потерь в выходном транзисторе аналогично формуле для батарейной электромеханической системы зажигания.

В системах зажигания с нормированием времени накопления энергии ток отключения определяется амплитудой тока ограничения при $t_h > t_{h\min}$, где $t_{h\min}$ — время нарастания первичного тока до амплитудного значения тока ограничения. При $t_h < t_{h\min}$ ток отключения I_o может быть определен из выражения (4.21).

2. Запирание и отсечка транзистора. Характерной особенностью переходных процессов в транзисторной системе зажигания является их зависимость от электрических характеристик и инерционных свойств транзистора. Процессы запирания и отсечки транзистора могут влиять на вторичное напряжение трансформатора. В зависимости от характера нагрузки транзистора (активная, емкостная, индуктивная или смешанная) движение его рабочей точки в процессе запирания имеет различный характер (рабочая точка характеризует изменение мгновенного значения тока коллектора i_k и напряжения $U_{\text{кэ}}$ транзистора).

После запирания транзистор переходит в режим отсечки, начинается процесс обмена энергией между магнитным и электрическим полями трансформатора и в первичной обмотке возникают затухающие колебания с максимальной амплитудой U_{1m} .

Потери энергии в транзисторе приводят к его перегреву и снижению пусковых показателей трансформатора зажигания.

Процессы, происходящие в первичной и вторичной цепях, обычно рассматриваются в предположении, что за время запирания транзистора потери энергии в нем не превышают 2–6% энергии, запасенной в магнитном поле трансформатора зажигания. Если пренебречь ими, транзистор можно считать идеальным коммутирующим ключом. При таком условии и отсутствии цепи защиты транзистора рабочие процессы в первичной и вторичной цепях протекают аналогично процессам в электромеханической батарейной системе.

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОММУТАТОРЫ КОНТАКТНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Электрическая схема подключения коммутатора в контактно-транзисторной системе зажигания приведена на рис. 4.49.

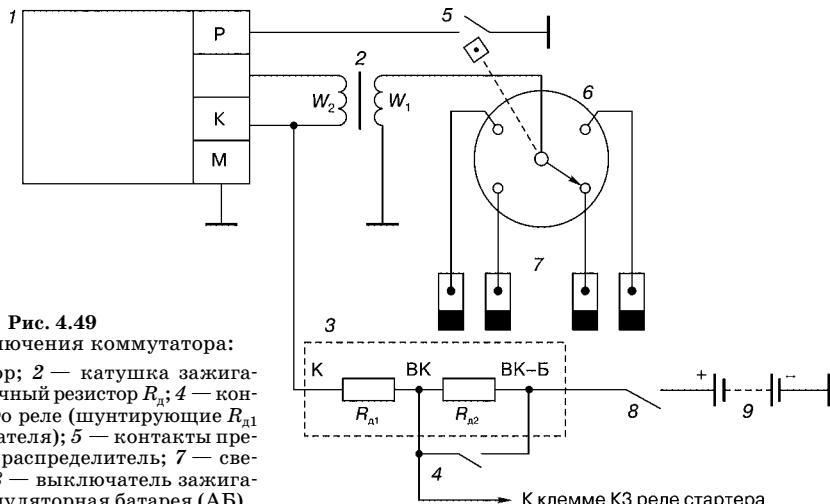


Рис. 4.49

Схема подключения коммутатора:

1 — коммутатор; 2 — катушка зажигания; 3 — добавочный резистор R_d ; 4 — контакты пускового реле (шунтирующие R_d при пуске двигателя); 5 — контакты прерывателя; 6 — распределитель; 7 — свечи зажигания; 8 — выключатель зажигания; 9 — аккумуляторная батарея (АБ).

Коммутатор ТК-102

Предназначен для работы в контактной системе зажигания автомобилей с 8-цилиндровыми двигателями с неэкранированным оборудованием (ГАЗ-53 А; ЗИЛ-130 и т. д.).

В качестве нагрузки используется катушка зажигания Б-114Б с повышенным коэффициентом трансформации и пониженной индуктивностью первичной обмотки. Для ограничения первичного тока — добавочное сопротивление СЭ-107 (состоящее из двух резисторов R_{d1} и R_{d2} по 0,52 Ом).

Основное назначение транзисторного коммутатора: включение и выключение тока низкого напряжения в первичной цепи КЗ. Принципиальная схема ТК-102 показана на рис. 4.50а.

Контакты прерывателя служат для управления коммутатором (отпирания и запирания транзистора ГТ701А).

При включении зажигания, когда контакты прерывателя разомкнуты, транзистор VT1 закрыт и в первичной цепи ток не проходит. В момент замыкания контактов прерывателя в цепи управления VT1 будет проходить

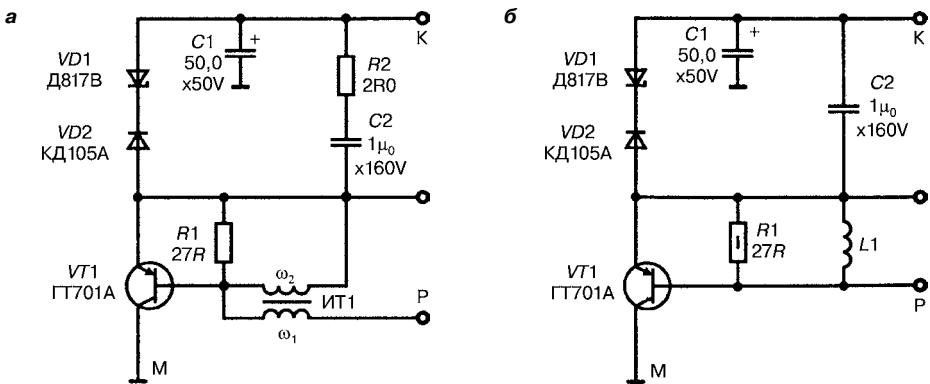


Рис. 4.50
Принципиальная схема коммутатора:
а — ТК-102; б — ТК-102А.

ток не более 0,8 А. С увеличением частоты вращения кулачка прерывателя вследствие уменьшения времени замкнутого состояния контактов сила тока в цепи управления $VT1$ уменьшится до 0,3 А.

Путь тока в цепи управления $VT1$: «+» аккумулятора — дополнительный резистор СЭ107 — первичная обмотка КЗ — безымянный зажим коммутатора — переход Э-Б транзистора — первичная обмотка ИТ1 — контакт прерывателя — корпус (масса) — «-» АБ. Вследствие прохождения тока управления через переход Б-Э $VT1$ происходит резкое снижение сопротивления переходов Э-К $VT1$ с нескольких сотен до нескольких долей Ом и он открывается (потенциал базы становится ниже потенциала эмиттера), включая цепь тока низкого напряжения.

Цепь тока низкого напряжения: «+» АБ — СЭ107 — первичная обмотка КЗ — переход Э-К $VT1$ — корпус («-» АБ). Сила тока в первичной цепи с открытым $VT1$ достигает 8 А при нерабочем двигателе и снижается при увеличении частоты вращения до 3 А.

При включении стартера выключателем зажигания обмотку пускового реле подключают к АБ. Ток, проходящий по обмотке реле, намагничивает сердечник, что вызывает замыкание контактов 4, тогда первичная обмотка КЗ подключается к АБ, помимо одной половины добавочного резистора СЭ107 З. Произойдет увеличение силы тока первичной цепи, одновременно вырастет напряжение во вторичной цепи зажигания. Ток, протекая по первичной обмотке КЗ, вызывает намагничивание сердечника катушки. Размыкание контактов прерывателя сопровождается прерыванием тока управления, что вызывает резкое повышение сопротивления $VT1$, и он, закрываясь, выключает цепь тока первичной цепи зажигания. Исчезающее магнитное поле первичной обмотки КЗ создает во вторичной обмотке высокое напряжение, которое через распределитель подводится к свечам зажигания.

Импульсный трансформатор ИТ1, первичная обмотка ($W1 = 50$ витков, $R = 0,14$ Ом) которого включена последовательно с контактами прерывателя, обеспечивает активное запирание $VT1$. В момент прерывания тока управ-

ления в обмотке (вторичной обмотке $W_2 = 150$ витков, $R = 7 \Omega$) ИТ1 индуцируется ЭДС. Импульс ЭДС вторичной обмотки ИТ1 действует в цепи $VT1$ в направлении, противоположном току управления, вследствие чего ускоряется его запирание (потенциал базы в момент запирания становится выше потенциала эмиттера), а поэтому ускоряется прерывание тока в первичной обмотке КЗ и быстрее уменьшается магнитный поток. Энергия тока взаимоиндукции вторичной обмотки ИТ1 расходуется на нагрев $R1$ (27Ω). $R1$ формирует импульс запирания $VT1$. Без $R1$ время запирания увеличивается в 2 раза.

В контактно-транзисторных системах зажигания конденсатор параллельно контактам прерывателя не устанавливается, так как применение в схеме $R1$ и ИТ1 обеспечивает необходимую скорость спадания первичного тока.

Во вторичной обмотке КЗ индуцируется ЭДС $17\text{--}30$ кВ, а в первичной — ЭДС самоиндукции величиной до 100 В. ЭДС самоиндукции первичной обмотки КЗ вызывает заряд конденсатора $C2$. В дальнейшем, при разомкнутых контактах прерывателя, $C2$ разряжается через первичную обмотку КЗ, затем происходит его затухающий колебательный разряд через первичную обмотку КЗ. Этим увеличивается продолжительность искрового разряда между электродами свечей. $C2$ и $R2$ обеспечивают снижение потерь мощности $VT1$ в период переключения, тем самым уменьшая его нагрев. Для предотвращения перегрева и пробоя $VT1$ при увеличении ЭДС самоиндукции первичной обмотки КЗ, что имеет место на малой частоте вращения КВ, или при обрыве в цепи высокого напряжения (проверке системы зажигания на искуственную) параллельно $C2$ включена цепочка, состоящая из стабилитрона $VD1$ и диода $VD2$, включенных встречно:

- $VD1$ — напряжение стабилизации стабилитрона выбрано таким, чтобы оно, суммируясь с напряжением питания, не превышало предельно допустимого напряжения участка Э-К $VT1$;
- $VD2$ — ограничивает ток через $VD1$ в прямом направлении (чтобы первичная обмотка не шунтировала стабилитрон, включенный в прямом направлении).

При увеличении ЭДС самоиндукции первичной обмотки КЗ выше 80 В (напряжение стабилизации) стабилитрон пропускает через себя ток самоиндукции, шунтируя тем самым первичную обмотку КЗ. Благодаря прохождению тока самоиндукции через цепочку $VD1$ и $VD2$ напряжение на зажимах первичной обмотки снижается, что предотвращает перегрев и пробой $VT1$. При уменьшении ЭДС самоиндукции ниже 80 В стабилитрон не проводит через себя ток и ЭДС самоиндукции расходуется на заряд $C2$.

Электролитический конденсатор $C1$ включен параллельно генератору и защищает $VT1$ от импульсных перенапряжений, возникающих в цепи «генератор — АБ» (работа без АБ, разрегулировка регулятора напряжения, короткое замыкание в обмотках генератора, ухудшение контакта с «массой» генератора и реле регулятора, резистора R_{d1} (при закороченном R_{d2})). При импульсе напряжения генератора $C1$ будет заряжаться, что уменьшит напряжение, а следовательно, и импульс силы тока в цепи $VT1$, тем самым предотвращая перегрев транзистора. Необходимое ограничение первичного

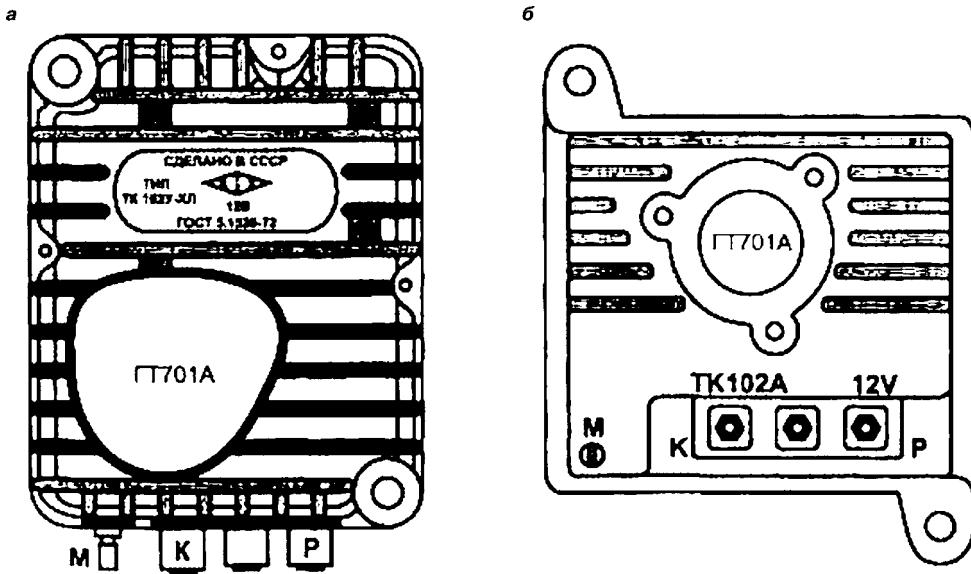


Рис. 4.51
Внешний вид коммутаторов:
а — ТК-102; б — ТК-102А.

тока для предохранения VT_1 от перегрузки по току во время пуска двигателя обеспечивается резистором R_{d1} (при закороченном R_{d2})).

Для снижения температуры VT_1 (допустимо $+65^{\circ}\text{C}$) коммутатор устанавливают в кабине водителя, а не под капотом двигателя.

Напряжение во вторичной цепи не менее чем на 25% выше по сравнению с классической системой зажигания, приводя к увеличению энергии искры разряда, что способствует более полному сгоранию даже обедненной рабочей смеси, обеспечивает облегченный пуск и экономичность двигателя (расход топлива снижается до 2%). Малая сила тока в цепи управления VT_1 (0,3–0,8 А) разгружает контакты прерывателя и продлевает срок их службы, но при этом предъявляются особые требования к чистоте поверхностных контактов. При незначительном увеличении сопротивления контактов прерывателя из-за окисления или загрязнения сила тока управления VT_1 снижается, он не открывается и двигатель не запускается.

Внешний вид коммутаторов ТК-102 и ТК-102А в масштабе 1:2 представлен на рис. 4.51.

Коммутатор ТК-102А

При включенном зажигании и замкнутых контактах прерывателя (см. рис. 4.50б) VT_1 коммутатора находится в открытом состоянии, так как его базе (управляющимся электроду) через контакты прерывателя подается отрицательный потенциал.

Ток будет проходить по первичной цепи: «+» АБ — R_d — W_1 — КЗ — переход Э-К VT_1 — «-» АБ. При размыкании контактов прерывателя на базе VT_1 исчезает управляющий сигнал и VT_1 запирается. Одновременно прекра-

щается ток через дроссель $L1$ ($R_{\text{обм}} = 4R2$), на его выводах индуцируется импульс самоиндукции, положительный полюс которого приложен к базе $VT1$, а отрицательный — к эмиттеру, что ускоряет (запирание) переход $VT1$ в закрытое состояние. Запирание $VT1$ приводит к быстрому уменьшению тока в $W1$ КЗ, обусловливая появление импульса высокого напряжения во вторичной обмотке. Путь тока во вторичной цепи: высоковольтный вывод $W2$ КЗ — центральный высоковольтный провод — распределитель высокого напряжения (трамблер) — свеча зажигания — корпус — $W2$ КЗ.

TK-102A имеет специальную защиту, состоящую из стабилитрона $VD1$ и диода $VD2$, которая предохраняет $VT1$ от пробоя ЭДС самоиндукции, возникающей в первичной обмотке КЗ при запирании $VT1$. В случае, когда ЭДС самоиндукции превышает 100 В, происходит пробой стабилитрона и повышенное напряжение гасится на диоде. Кроме того, диод препятствует протеканию тока от батареи к $VT1$ через стабилитрон, минуя $W1$ КЗ.

Для снижения мощности тока в цепи стабилитрона предусмотрен конденсатор $C2$, который заряжается от ЭДС самоиндукции первичной обмотки КЗ при запирании $VT1$. В случае, когда ЭДС самоиндукции не достигает опасного значения и пробоя стабилитрона не происходит, $C2$ уменьшает потери мощности $VT1$ в период запирания, что снижает его нагрев.

Электролитический конденсатор $C1$ включен параллельно генератору и АБ и защищает $VT1$ от импульсных перенапряжений, которые могут возникнуть в бортовой сети при включении мощных потребителей или отключения АБ при работающем двигателе. В этом случае импульс повышенного напряжения будет заряжать $C1$, что предотвратит воздействие повышенного напряжения на $VT1$.

Добавочные резисторы R_{d1} и R_{d2} разгружают КЗ от повышенной тепловой нагрузки. При закорачивании R_{d2} во время работы стартера улучшается пуск двигателя.

БЛОКИ ЭЛЕКТРОННОГО ЗАЖИГАНИЯ КОНТАКТНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Блок электронного зажигания БЭЗ (Томск)

Блок БЭЗ (РБЗ.242.000 ТУ) предназначен для работы в стандартной системе зажигания автомобилей и мотоциклов с номинальным напряжением питания 12 В и «минусом» на «массе».

Применение блока зажигания устраняет обгорание контактов прерывателя, облегчает запуск двигателя, делает работу двигателя устойчивой на холостых оборотах, снижает токсичность выхлопных газов и упрощает обслуживание системы зажигания.

Для полной реализации положительных свойств блока не рекомендуется применять выключатели «массы», в которых в качестве коммутирующего элемента используется тиристор или транзистор. При установке БЭЗ напряжение на свечах на 30% выше, чем без блока. Не допускается работа блока с катушками зажигания типа Б114. Основные технические характеристики:

- номинальное напряжение питания — 12 В;
- допустимое изменение напряжения питания — 6–16 В;

- ток через контакты прерывателя — 0,3 А;
- длительность искрового разряда — 1 мс;
- диапазон рабочих температур — $-40 \dots -70^{\circ}\text{C}$.

Внешний вид и схема подключения БЭЗ показаны на рис. 4.52.

Принципиальная схема и внешний вид блока электронного зажигания БЭЗ представлены соответственно на рис. 4.53, 4.54.

Внешний вид и принципиальная схема коммутатора 47.3734, 4701.4734 представлены соответственно на рис. 4.54, 4.55.

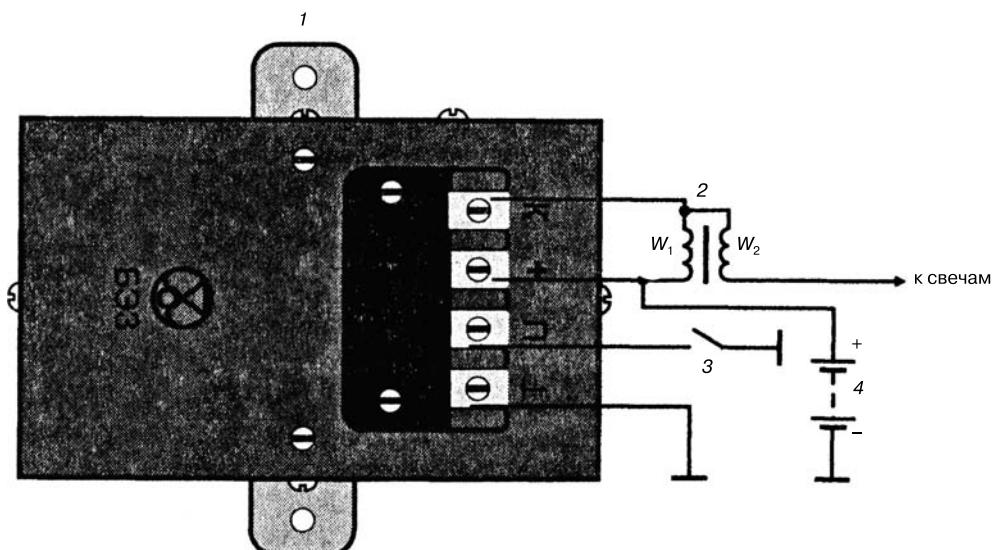


Рис. 4.52
Электрическая схема подключения БЭЗ на мотоцикле:

1 — блок электронного зажигания; 2 — катушка зажигания; 3 — прерыватель; 4 — аккумулятор.
Примечания: 1. Неправильное подключение приводит к отказу блока и выходу из строя электро-радиоэлементов. 2. При установке БЭЗ необходимо зачистить контакты прерывателя. 3. При отказе блока электронного зажигания для перехода на штатную систему зажигания необходимо отсоединить провода от клемм «П» и «К» и соединить их вместе. 4. Отсоединить провод от клеммы «+» и изолировать конец этого провода во избежание замыкания на «массу».

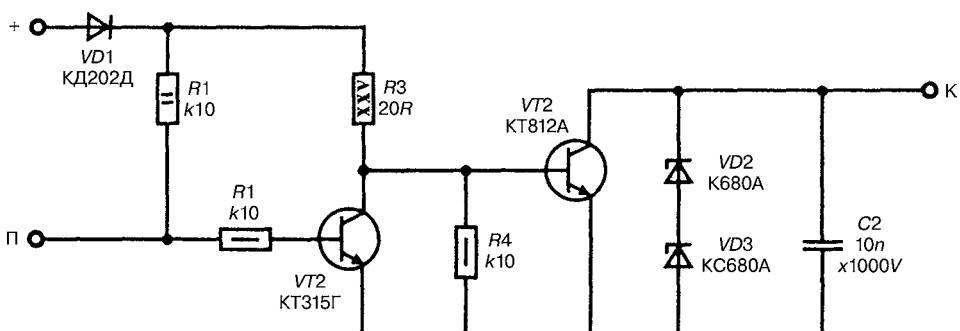


Рис. 4.53
Принципиальная схема блока электронного зажигания

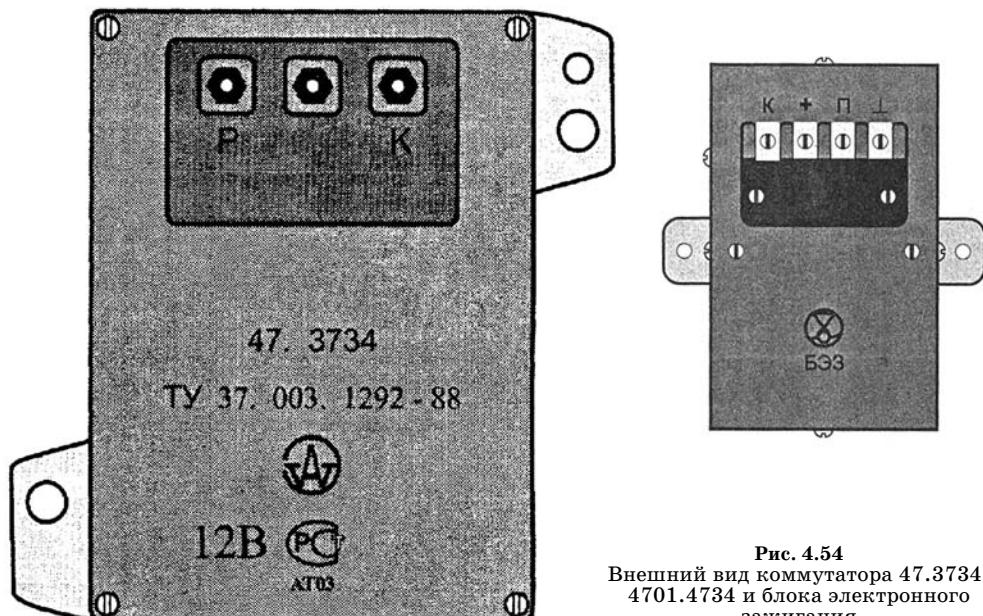


Рис. 4.54
Внешний вид коммутатора 47.3734,
4701.4734 и блока электронного
зажигания

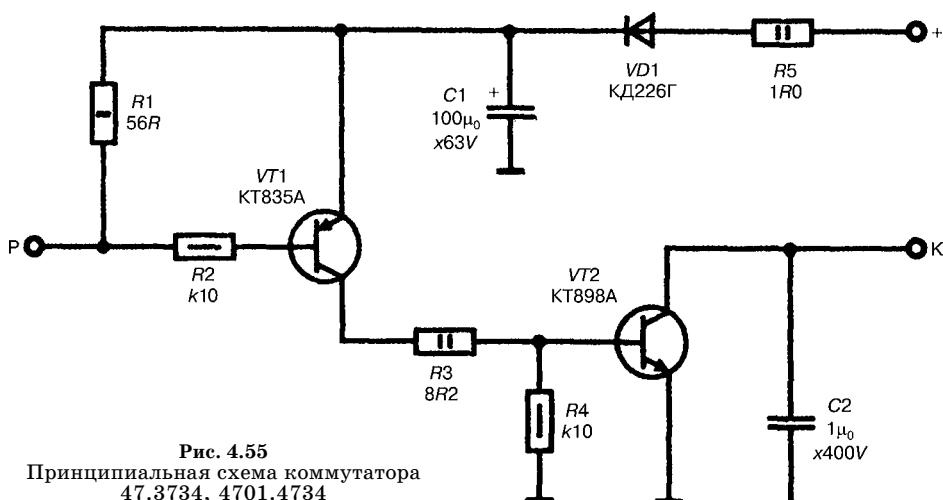


Рис. 4.55
Принципиальная схема коммутатора
47.3734, 4701.4734

Электронный коммутатор 84.3734-01 имеет следующие основные технические характеристики:

- номинальное напряжение питания — 12 В;
- допустимое изменение напряжения питания — 6–16 В;
- ток разрыва коммутатора — 8 А;
- средний ток потребления коммутатора — 4 А;
- время отключения тока — 1–3 с.

Электронный коммутатор 84.3734-01 может применяться вместо ТК-102, ТК-102А.

Блоки импульсного плазменного зажигания ОН-427 (Минск)

Известно, что КПД двигателя внутреннего сгорания зависит от температуры газов в камере сгорания, зависящей, в свою очередь, от скорости сгорания топливно-воздушной смеси. Соответственно с увеличением этой скорости увеличивается КПД двигателя и, как следствие, уменьшается удельный расход топлива.

При разработке новой системы зажигания было сделано предположение, что увеличить скорость сгорания топливно-воздушной смеси в камере сгорания можно, ослабив эффект «шнуривания» плазмы, образующейся между электродами свечи за счет протекания в искровом промежутке постоянного тока. Ток в этом случае поддерживается за счет энергии, накопленной в катушке зажигания. В новой системе используется принцип накопления энергии в конденсаторе, обеспечивающий в искровом промежутке свечи зажигания биполярный импульсный ток.

В течение первого периода колебаний напряжения на электродах свечи происходит подготовка смеси и ее воспламенение, а в течение последующих — ее сжигание. На рис. 4.56 изображен график изменения напряжения на электродах разрядника. В двух периодах импульсы напряжения имеют форму, близкую к прямоугольной.

Предлагаемая схема зажигания позволяет подавать на электроды свечей напряжение, полярность которого меняется в течение одного такта работы

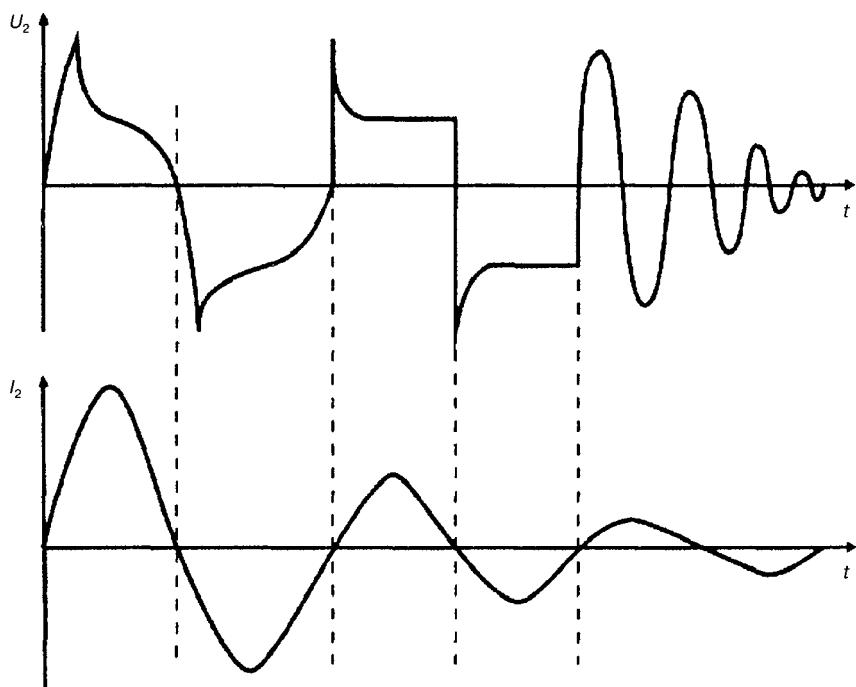


Рис. 4.56
Осциллограммы напряжения и тока на W2 K3 (электродах разрядника)

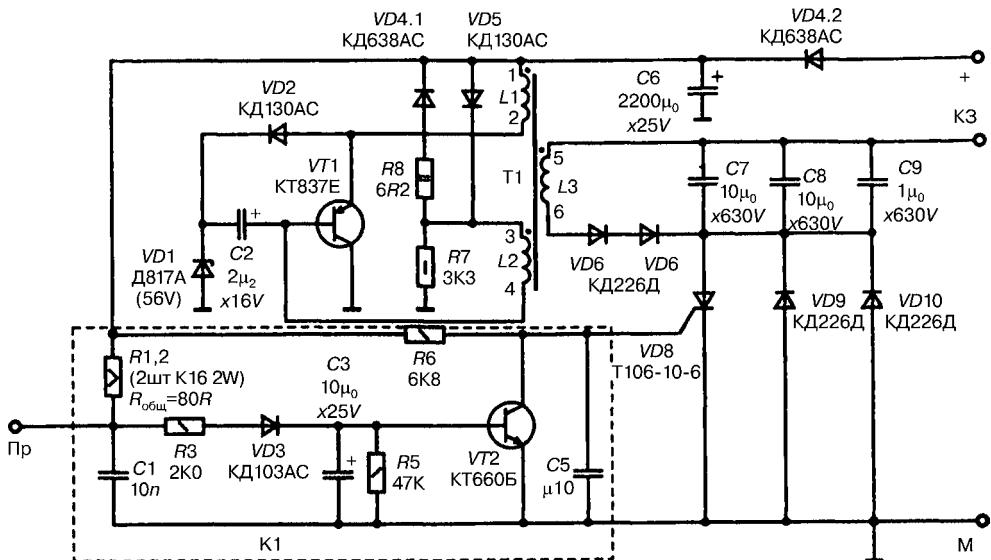


Рис. 4.57
Принципиальная схема блока зажигания ОН 427

двигателя. Подбором элементов схемы управления обеспечивается оптимальная продолжительность разряда.

Схема электронного зажигания представлена на рис. 4.57.

Конденсаторы C_7 – C_9 заряжаются от вторичной обмотки преобразователя на транзисторе VT_1 до напряжения, значительно превышающего ЭДС аккумуляторной батареи. При размыкании контакта прерывателя, включенного между точками ПР и М, через управляющий электрод тиристора VD_8 проходит импульс тока, сформированный RC -цепью R_1 , R_2 , R_8 , C_1 . Тиристор открывается и начинается колебательный разряд конденсаторов через первичную обмотку катушки зажигания, подключенной к точке КЗ. В течение первого полупериода ток протекает через тиристор, а в течение второго — через диоды VD_9 , VD_{10} .

Процесс повторяется до тех пор, пока конденсатор C_3 не зарядится до напряжения, при котором открывается ключ на VT_2 , что предотвращает очередное отпирание тиристора. После замыкания контакта прерывателя остаточное напряжение конденсатора C_4 прикладывается к управляющему переходу тиристора и надежно запирает его. Конденсатор при этом разряжается через резистор R_3 , однако ключ VT_2 некоторое время после замыкания контакта остается открытым, что предотвращает случайное отпирание тиристора за счет дребезга контактов прерывателя.

Трансформатор преобразователя блока зажигания имеет послойную рядовую намотку (виток к витку). Изоляция между обмотками — два слоя лакоткань ($U_{\text{проб}} = 1000$ В), между слоями — один слой ($U_{\text{проб}} = 500$ В). Порядок намотки обмоток: L_2 (48 витков проводом ПЭТВ-2-0,42, с выводами 3, 4); L_3 (420 витков проводом ПЭТВ-2-0,25, с выводами 5, 6); L_1 (35 витков ПЭТВ-2-1,0).

Сердечник трансформатора ферритовый III 10×10, марки 2000 НМ-1. Собирается с зазором 1 мм, в который вставляется диэлектрическая прокладка из гетинакса.

Трансформатор рассчитан на использование в схеме стабилитрона D817A с напряжением стабилизации 56 В. Если напряжение на выходе источника меньше 450 В (это может произойти из-за разброса параметров стабилитронов), следует увеличить его, включив последовательно со стабилитроном D817A стабилитрон из ряда КС433А, КС447А, КС456А.

Приведенная на рис. 4.58 схема взята прямо из патента и предназначена больше для пояснения принципа реализации нового способа воспламенения топливно-воздушной смеси в камере сгорания. И поэтому, зачастую даже имея в распоряжении неплохой осциллограф (например, С1-65), бывает труд-

Таблица 4.1

Применяемость коммутаторов ОН-427

Датчик распределитель	Катушка зажигания	Добавочный резистор	Коммутатор	Автомобили и автобусы	Коммутатор, рекомендуемый для установки
P-119-Б	Б115-В			ГАЗ-24 и модификации	ОН-427-01
P132	Б102-Б	СЭ40-А		УАЗ-4523, -469 и модификации	ОН-427-03
	Б116		13.3734-01	УАЗ-3151, -3741 и модификации	ОН-427-02
P133-Б	Б114-Б	СЭ107	TK102-А	ГАЗ-53 и модификации	ОН-427
P147А, Б	Б115-В			М-2140, ИЖ-2125, -2715, ГАЗ-3102	ОН-427-01
P351	Б118	СЭ326	TK200-01	ЗИЛ-131В1, Урал-375 и модификации	ОН-427-02
P352	Б118	СЭ326	TK200-01	ГАЗ-66 и модификации	ОН-427-02
17.3706	Б115-В			ЗАЗ-968М	ОН-427-01
19.3706	Б116		13.3734	ГАЗ-24, «Газель»	ОН-427-02
23.3706	Б115-В			ГАЗ-52 и модификации	ОН-427-01
24.3706	Б116	14.3729	13.3734	ГАЗ-53А, -66 и модификации	ОН-427-02
30.3706	Б117-А			АЗЛК моделей 2141, 2141-01, 21412-01	ОН-427-03
30.3706.01	Б117			ВАЗ моделей 2101-07, 2121	ОН-427-03
40.3706	27.3705		36.3734	ВАЗ моделей 2108, 2109	ОН-427-04
46.3706	Б114-Б	СЭ107	TK102-А	ЗИЛ-431410 и модификации, ЗИЛ-131НА	ОН-427
46.3706	Б115-В			АЗЛК моделей 2141, 2141-01, 21412-01	ОН-427-01
53.013706	53.3705		3620.3734	ЗАЗ-1102	ОН-427-04

но (но возможно) добиться необходимой формы высокого напряжения на электродах разрядника. Тем не менее коммутаторы ОН-427 достаточно широко используются (табл. 4.1).

Оscиллограммы напряжения на вторичной обмотке катушки зажигания (электродах разрядника), полученные при снятии сигнала с емкостного датчика напряжения в искровом промежутке. На их основании можно только предполагать, какие процессы происходят в искровом промежутке. Наличие горизонтальных участков во втором периоде колебательного процесса, скорее всего, свидетельствует о возникновении достаточно сильной ионизации и, как следствие, возникновении коронного (или тлеющего) разряда. Как это влияет на процесс воспламенения, не очень понятно. Но когда эти участки по каким-либо причинам пропадают, зажигание превращается в обычное — тиристорное. Поэтому если удастся получить похожую картину, задачу можно считать выполненной.

Однако по вышеописанной схеме это сделать непросто, так как форма напряжения в итоге зависит от параметров тиристора и выключающего его транзистора, а разброс параметров этих элементов значителен. Поэтому, чтобы получить необходимую форму импульса, приходится выбирать подходящие элементы из большого числа деталей.

Если немного усложнить схему и использовать в ней таймеры КР1006ВИ1, задача решается значительно проще. Такая схема приведена в справочнике электронных приборов автомобилей [9].

На первом таймере реализована схема защиты от дребезга контактов прерывателя. Второй таймер — одновибратор, управляющий тиристором. Он формирует импульс длительностью около 1 мс, который принудительно удерживает тиристор в открытом состоянии все это время. Таким образом замыкается цепь колебательного контура, образованного первичной обмоткой катушки зажигания и накопительным конденсатором. Напряжение на накопительном конденсаторе должно быть не менее 450 В. Частота высоковольтного преобразователя выбрана достаточно низкой (около 2 кГц), потому что тиристор должен успеть выключиться за время между импульсами блокинг-генератора преобразователя.

Несколько неудобно то, что приходится вывод катушки зажигания переключать на «массу», что, впрочем, позволяет упростить схему.

В схеме есть еще один недостаток. Используемые микросхемы таймеров КР1006ВИ1 имеют предельно допустимое напряжение питания 16,5 В. Но согласно ГОСТ 3940 блок должен выдерживать повышенное напряжение питания (18 В) в течение получаса непрерывной работы.

Блоки зажигания, выпускаемые промышленностью, лишены вышеперечисленных недостатков, и их схемы приведены в упомянутом справочнике. Блок допускает проверку наличия высокого напряжения на свечах зажигания путем визуального контроля искрового разряда между снятым со свечи проводом высокого напряжения и корпусом автомобиля («массой»); расстояние между металлической жилой проводника и корпусом должно быть не менее 15 мм. При меньшем расстоянии катушка зажигания может выйти из строя.

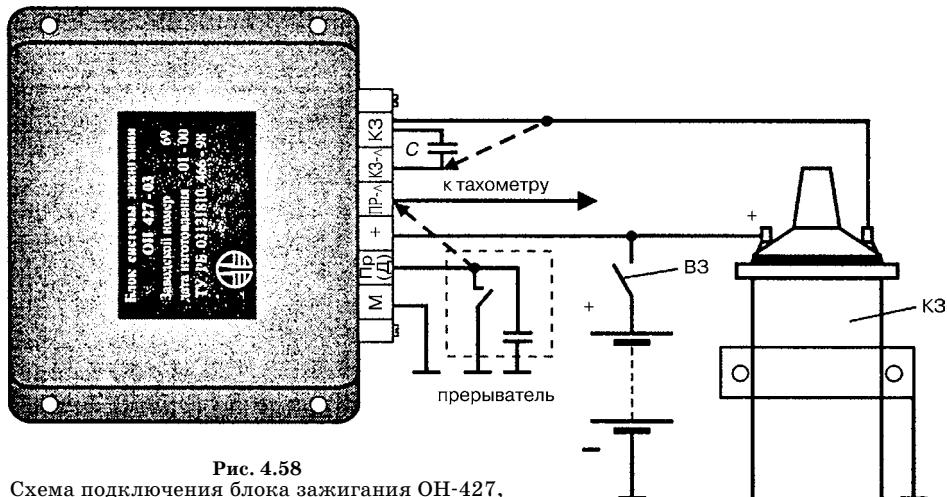


Рис. 4.58

Схема подключения блока зажигания ОН-427, ОН-427-01, ОН-427-03 и перехода на штатную систему в случае аварийного выхода из строя блока зажигания

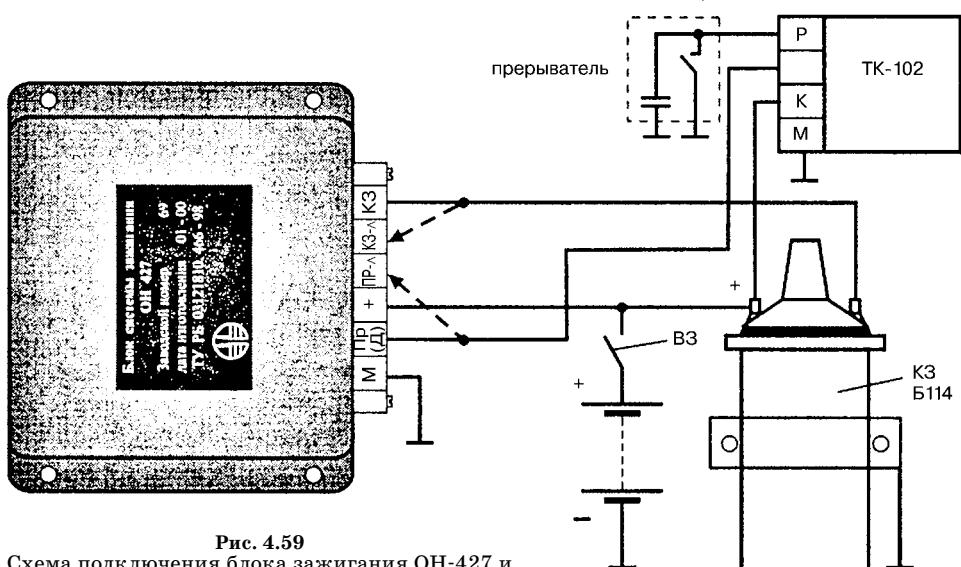


Рис. 4.59

Схема подключения блока зажигания ОН-427 и перехода на штатную систему в случае аварийного выхода из строя блока зажигания

В случае аварийного выхода из строя блока, работающего с катушками Б115 или Б117, можно перейти на работу со штатной системой зажигания, переключив проводники на клеммной колодке блока, как показано на рис. 4.58 (пунктирные стрелки). Вышедший из строя блок подлежит ремонту или замене.

При работе блока с катушкой Б114 такое переключение недопустимо, так как приводит к выходу из строя прерывателя. Возможен вариант подключения блока ОН-427, работающего с катушкой Б114, последовательно со штатным блоком ТК-102 и аварийным переходом на работу со штатным блоком (рис. 4.59).

Электронное зажигание

Предлагаемое устройство избавит от многих проблем, особенно в зимнее время. Оно не требует внесения изменений в электрическую схему автомобиля, при необходимости позволяет легко вернуться к стандартной системе. Немаловажно и то, что при пониженном напряжении питания бортовой сети (например, при включении стартера) автоматически включается многоисточниковой режим. Устройство работоспособно и при снижении напряжения аккумулятора до 6–6,5 В.

На рис. 4.60 представлена электрическая схема, основу которой составляет преобразователь напряжения, собранный на транзисторе VT1 по схеме блокинг-генератора с общим коллектором.

Импульсы обратного хода на обмотке II трансформатора T1 с частотой 2–3 кГц через выпрямитель VD7 заряжают накопительный конденсатор C2. По мере его заряда амплитуда обратных импульсов растет и достигает напряжения стабилизации стабилитрона VD1. Через VD1 заряжается конденсатор C1. Временем его разряда определяется задержка запуска блокинг-генератора. При этом снижается частота колебаний генератора и потребляемый схемой ток. После разряда C2 (через катушку зажигания и тиристор VS1) процесс повторяется.

Напряжение на C2 зависит от амплитуды импульсов на обмотке обратной связи II T1 и коэффициента трансформации. При указанных параметрах к моменту открытия стабилитрона VD1 напряжение на C2 достигает 400 В. Амплитуда импульсов на обмотке II трансформатора зависит от разности между напряжением стабилизации VD1 и напряжением питания U

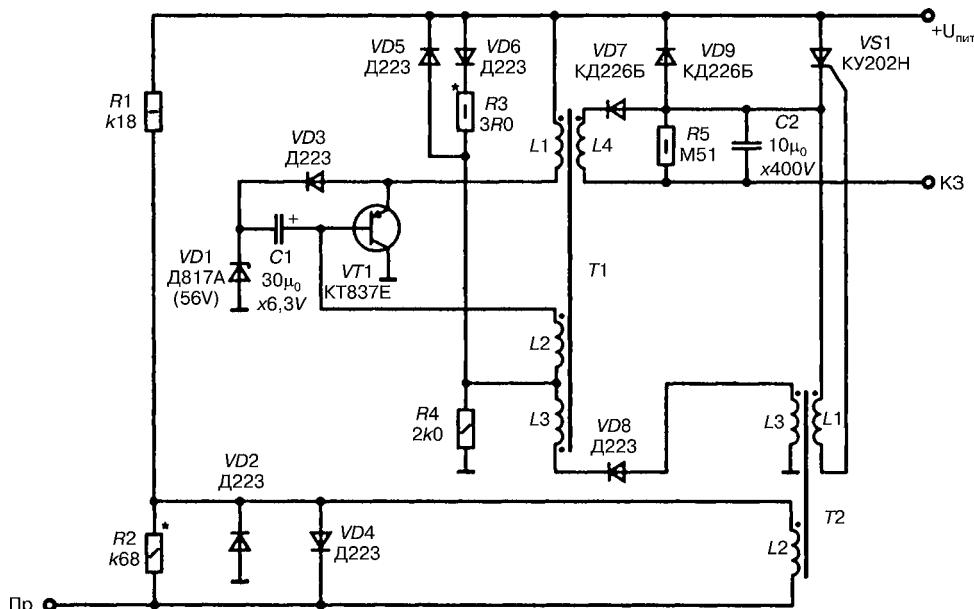


Рис. 4.60
Принципиальная схема электронного зажигания

(амплитуда, таким образом, растет с уменьшением напряжения бортовой сети).

При уменьшении напряжения питания растет напряжение на $C2$. Включение диода $VD4$ увеличивает длительность искры, поскольку при этом происходит полный цикл колебаний в контуре, образованном катушкой зажигания и конденсатором.

Диод $VD8$ шунтирует управляющую обмотку импульсного трансформатора при замкнутых контактах прерывателя, что исключает открытие $VS1$ до их размыкания. Число витков обмотки ПП $T1$ выбрано таким образом, чтобы максимальная амплитуда импульсов на ней была несколько ниже напряжения аккумуляторной батареи и $VD7$ открывался только при снижении напряжения питания ниже 12 В. В этом случае быстрота искрообразования определяется временем заряда $C2$. Искровой разряд происходит каждый раз, как только открывается $VD1$ и происходит разряд $C2$ по цепи: обмотки $L2$ и $L3$ $T1$ — $VD8$ — обмотка $L3$ импульсного трансформатора $T2$ — $VD1$ (при условии разомкнутых контактов).

Для изготовления $T1$ можно использовать любую трансформаторную сталь. Сечение среднего керна — примерно 12 см. Трансформатор собирается с зазором 0,2 мм (можно вставить в зазор кусок картона подходящей толщины).

При сборке зазор не должен перекрываться железными накладками. $L1$ содержит 50 витков, $L2$ — 70, $L3$ — 130, $L4$ — 450 витков. $L1$ выполняется проводом ПЭВ диаметром 0,7–0,8 мм, остальные обмотки — проводом ПЭВ диаметром 0,2–0,25 мм.

$T2$ намотан на ферритовом кольце диаметром 12–15 мм, высотой 4–5 мм с магнитной проницаемостью 1000–3000. Число витков обмоток: $L1$ — 25, $L2$ — 150, $L3$ — 10. Диаметр провода марки ПЭВ — 0,12–0,18 мм. $L1$ находится под напряжением 400 В, поэтому следует позаботиться о ее изоляции от $L2$ и $L3$, ее лучше расположить между $L2$ и $L3$.

Для проверки и настройки устройства желательно иметь регулируемый источник питания 6–15 В с током выхода до 2,5 А. Однако можно обойтись и без него, потому что вполне подойдут автомобильный аккумулятор, катушка зажигания и 8 элементов типа 373 (по 1,5 В).

На первом этапе настройки отключаем многоискровой режим. Для этого отпайиваем одну из ножек $VD8$ (в разрыв можно включить тумблер, что создает дополнительные удобства при настройке). К собранному блоку подключаем катушку зажигания (можно использовать резистор сопротивлением 20–30 Ом), затем — питание 12 В. Если блокинг-генератор работает, то вы услышите характерный писк, в противном случае надо проверить правильность сборки генератора и качество элементов. Напряжение на выходе работающего блока (на контактах $C2$) должно составлять 380–410 В (при несоответствии подбирается $VD1$). При сильно пониженном напряжении (100–150 В) следует поменять местами выводы обмотки $L4$.

Для проверки мощности преобразователя вместо катушки зажигания в качестве нагрузки используют лампочку 220 В 15 Вт, подключая ее к выводам $C2$. Лампочка должна гореть в полный накал. При этом постоянное на-

напряжение на ней составляет 180–220 В. Мощность регулируется подбором $R3$. Потребляемый схемой ток при подключении лампочки варьируется в пределах 1,5–2 А (без нагрузки — 50–150 мА).

При наличии катушки зажигания предусматривается искровой промежуток 10–145 мм между высоковольтным проводом и минусом питания. Кратковременное замыкание идущего к прерывателю провода на корпус ведет к тому, что в искровом промежутке проскаивает искра. Если регулировка мощности не проводилась, то визуально (по мощности искры) можно с известной долей точности подобрать $R3$.

Для лучшей помехоустойчивости устройства величину $R2$ подбирают таким образом, чтобы искра возникла при напряжении источника питания 6 В и более.

Теперь можно приступить к установке порога включения многоискрового режима. Сначала подключается $VD8$. При снижении напряжения питания возникает момент, когда и без замыкания провода З на корпус искрообразование становится непрерывным. Если порог включения многоискрового режима составляет 12 В и выше, то последовательно с $VD8$ следует включить еще один диод.

Собранный блок электронного зажигания устанавливают под капотом автомобиля вблизи катушки зажигания (желательно выбрать место с хорошим обдувом). Затем отключают конденсатор распределителя зажигания от контактов прерывателя. Следующий этап — отключение провода, соединяющего прерыватель и катушку зажигания. При наличии добавочного резистора (катушка типа Б115) следует закоротить его, используя отключенный провод. Если имеется тумблер включения многоискрового режима, то его лучше выключить. После опробования устройства в рабочем режиме можно увеличить зазор на свечах в 1,5–2 раза.

Следует помнить, что при большом зазоре в контактах прерывателя появляется вероятность пропадания последних искр (при многократном режиме) в следующий цилиндр, что нарушает работу двигателя. Поэтому зазор нужно сократить до минимума в том интервале зазоров, который рекомендуется заводом-изготовителем.

Коммутатор Калашникова

Предназначен для работы практически с любыми КЗ от контактных (классических) систем зажигания. Накопление энергии осуществляется в высоковольтном электролитическом конденсаторе большой емкости. Формируемый ток разрыва имеет импульсный характер, что позволяет достигать амплитуды до 13 А. Величина тока потребления изменяется от 1 до 2,5 А в зависимости от частоты вращения КВ, длительность разряда при этом линейно снижается.

Данный коммутатор (см. рис. 4.61) обеспечивает работу двигателя на обедненной топливно-воздушной смеси, заметно снижает токсичность на холостом ходу и малых нагрузках, можно несколько снизить холостой ход. Увеличивает энергию разряда на холостом ходу в 3 раза, а при пуске — в 4 раза. Убирает «провалы» при резком росте нагрузки на малых оборотах.

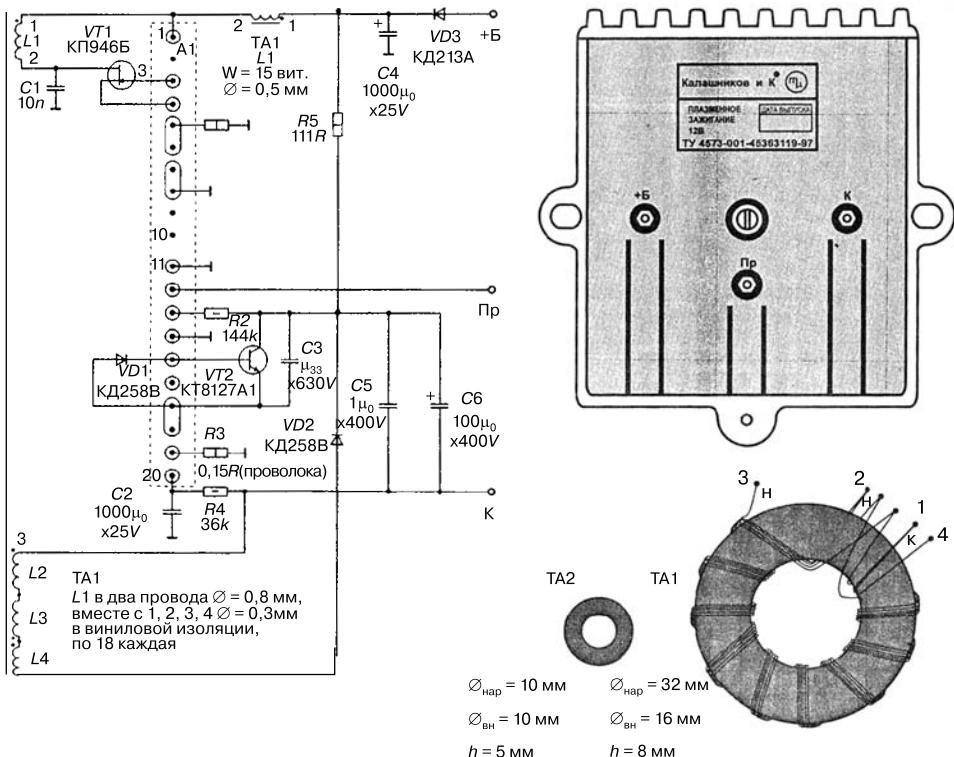


Рис. 4.61
Принципиальная схема и внешний вид коммутатора Калашникова
с применяемыми в нем трансформаторами (масштаб 1:1)

К недостаткам коммутатора Калашникова можно отнести:

- у блоков первых выпусков ток разрыва на контактной группе в 2–4 раза меньше тока самоочищения контактов ($I_{\text{ко}} = 200\text{--}500 \text{ мА}$). Значит, придется зачищать контакты через 3–5 тыс. км или отключать блок для самоочистки контактов;
- при $t = -40^\circ\text{C}$ коммутатор не работает, если $U_{\text{пит}} < 12 \text{ В}$. Применяемая элементная база ограничила его предел -35°C . При этой температуре можно рассчитывать на нормальную работу блока при $U_{\text{пит}} = 6\text{--}12 \text{ В}$;
- плохой тепловой контакт выходного транзистора с корпусом (радиатором) коммутатора.

4.5.3. ТИРИСТОРНАЯ (КОНДЕНСАТОРНАЯ) СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

В тиристорных системах зажигания энергия для искрового разряда накапливается в конденсаторе, поэтому их часто называют конденсаторными. В момент искрообразования конденсатор разряжается через тиристор и первичную обмотку катушки зажигания и во вторичной обмотке индуцируется высокое напряжение.

Энергия W_C , накапливаемая в конденсаторе C , зависит от его емкости и напряжения в квадрате (U^2), подводимого к конденсатору:

$$W_C = CU^2/2.$$

Поэтому конденсатор заряжают до напряжения 300–400 В от бортовой сети 12–14 В или другого источника повышенного напряжения через преобразователь напряжения П и выпрямитель В (рис. 4.62).

Время полного заряда накопительного конденсатора значительно меньше времени накопления энергии в индуктивности и может быть доведено до 2 мс. Оно зависит от мощности и выходного сопротивления преобразователя и емкости накопительного конденсатора. Это время рассчитывается так, чтобы к моменту подачи следующей искры он был полностью заряжен, так обеспечивается энергия искры постоянной во всем диапазоне частот искрообразования.

Тиристоры менее чувствительны к повышенному напряжению, чем транзисторы. Тиристорные системы зажигания могут работать с катушкой контактной системы батарейного зажигания, максимальная величина ЭДС самоиндукции которой примерно соответствует зарядному напряжению накопительного конденсатора. Конденсатор прерывателя не влияет на работу тиристорной системы, это позволяет в случае отказа быстро перейти на батарейную систему.

Высокое напряжение тиристорной системы зажигания нарастает примерно в 10 раз быстрее, чем в батарейной и контактно-транзисторной системах. Поэтому оно обеспечивает пробой искрового промежутка в свечах с загрязненными, покрытыми нагаром изоляторами. Но продолжительность разряда в искровом промежутке значительно меньше (около 300 мкс), чем в системах с накоплением энергии в индуктивности (около 1 мс), так как частота колебаний контура «накопительный конденсатор — первичная обмотка» в тиристорной системе значительно выше.

Тиристорные системы зажигания по принципу действия делят на две группы: с импульсным непрерывным (многоимпульсным) и одноимпульсным накоплением энергии в емкости.

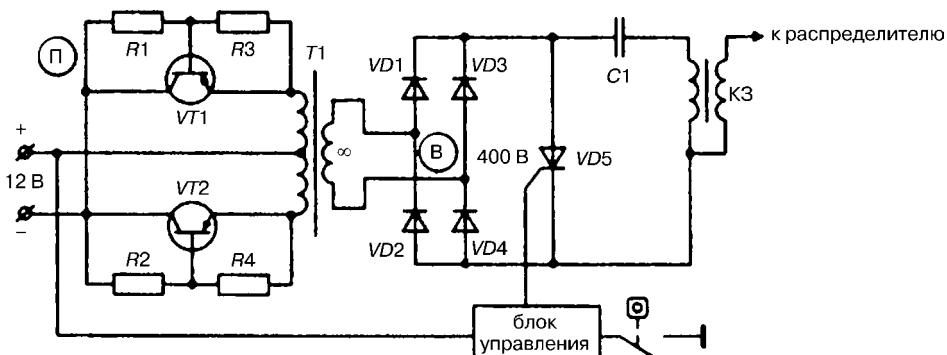


Рис. 4.62
Принципиальная схема тиристорной системы зажигания
с непрерывным накоплением энергии

В импульсных системах конденсатор заряжается одним импульсом прямоугольной формы до конечного напряжения, а затем наступает пауза до момента его разряда. В схемах с непрерывным накоплением энергии конденсатор заряжается многочисленными прерывистыми импульсами напряжения.

Системы с импульсным накоплением позволяют простыми средствами стабилизировать напряжение заряда накопительного конденсатора, т. е. сделать его не зависящим от изменений напряжения питания и других дестабилизирующих факторов. Однако при малой пусковой частоте вращения вала двигателя в этих системах вследствие увеличения времени паузы накопительный конденсатор к моменту искрообразования успевает несколько разрядиться и напряжение искрообразования уменьшается. Это налагает жесткие требования на значения токов утечки в элементах вторичной цепи — тиристоре, накопительном конденсаторе, выпрямительном диоде — и является недостатком систем с импульсным накоплением.

Системы с непрерывным накоплением энергии свободны от указанного недостатка. Они практически нечувствительны к утечкам в элементах вторичной цепи и обеспечивают независимость напряжения искрообразования от частоты вращения вала двигателя.

Принципиальная схема тиристорной системы зажигания с непрерывным накоплением энергии приведена на рис. 4.62. Она включает преобразователь П постоянного напряжения 12–15 В в переменное 300–400 В с частотой около 500 Гц, выпрямитель переменного напряжения В, тиристор VD_5 , накопительный конденсатор C_1 , блок управления и катушку зажигания КЗ. В качестве преобразователя напряжения может быть использован приведенный на схеме двухтактный преобразователь с самовозбуждением и трансформаторной связью, собранный по схеме с общим коллектором на транзисторах VT_1 , VT_2 , резисторах R_1 – R_4 и трансформаторе Т1.

При включении зажигания напряжение бортовой сети подводится к средней точке обмотки трансформатора и коллекторам транзисторов. Возникает ток в двух параллельных цепях, который течет от средней точки трансформатора через его верхнюю половину, R_1 , R_3 , VT_1 и через нижнюю половину, R_2 , R_4 , VT_2 . Вследствие разброса параметров транзисторов и резисторов ток в одной половине трансформатора (допустим, в верхней) пойдет несколько больший, чем во второй (нижней). Это вызывает ускоренное отпирание одного транзистора (VT_1) и запирание второго (VT_2). В таком состоянии транзисторы находятся до тех пор, пока магнитный поток в сердечнике трансформатора не достигнет насыщения. Происходящее при этом резкое замедление нарастания тока вызывает в обмотках трансформатора ЭДС противоположной полярности, которая переключает транзисторы: запирает VT_1 и отпирает VT_2 . Транзисторы переключаются с частотой около 500 Гц, меняя направление тока в обмотке трансформатора, и на выходе трансформатора появляется переменное напряжение порядка 350–400 В. Двухполупериодный выпрямитель на VD_2 – VD_4 преобразует переменное напряжение в постоянное, которым заряжается C_1 . В момент искрообразования по сигналу контактного или бесконтактного датчика с блока управления подается

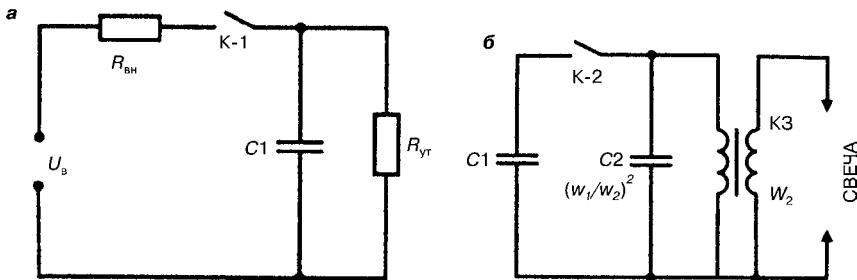


Рис. 4.63

Схема замещения тиристорной СЗ с непрерывным накоплением энергии для:
а — первого этапа; б — второго этапа.

положительный импульс на управляющий электрод тиристора VD_5 . Тиристор открывается, и конденсатор разряжается через первичную обмотку катушки зажигания, а во вторичной обмотке индуцируется высокое напряжение.

Рассмотрим подробнее основные этапы работы системы: заряд накопительного конденсатора после переключения ключа VD_5 в положение 1 (этап 1) и процессы, происходящие после размыкания контактов прерывателя и переключения VD_5 в положение 2 (этап 2).

Этап 1. Согласно схеме замещения (рис. 4.63а) цепь, состоящая из накопительного конденсатора C_1 , резистора R_{bh} , сопротивление которого равно внутреннему сопротивлению преобразователя, и резистора R_{yt} , сопротивление которого равно результирующему сопротивлению утечки во вторичной цепи, с помощью коммутатора VD_5 подключается к источнику постоянного напряжения U_b , которым является преобразователь.

Напряжение на конденсаторе возрастает по экспоненциальному закону:

$$U_{C1} = U_b \frac{R_{yt}}{R_{bh} + R_{yt}} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (4.22)$$

где $\tau = \frac{R_{yt} R_{bh}}{R_{yt} + R_{bh}}$ — постоянная времени цепи заряда конденсатора.

Как правило, $R_{yt} \geq R_{bh}$ (в противном случае, как будет показано ниже, система неработоспособна), и напряжение на накопительном конденсаторе через время $t = 3\tau = 3R_{bh}C_1$ практически достигает установившегося значения U_b .

Энергия, запасенная в электрическом поле конденсатора:

$$W_{C1} = C_1 U_b^2 / 2. \quad (4.23)$$

Необходимым условием нормальной работы системы является полный заряд конденсатора до напряжения U_b за время между двумя искрами при максимальной частоте вращения вала двигателя. Учитывая, что конденсатор в схеме на рис. 4.63 начинает заряжаться лишь после замыкания

контактов прерывателя, и считая скважность работы прерывателя равной 2, это условие для четырехтактного двигателя будет иметь вид

$$\tau = R_{\text{вн}} C1 \leq 20/z n_{\text{max}}, \quad (4.24)$$

где z — число цилиндров двигателя; n_{max} — максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин. Для двухтактного двигателя числитель правой части должен быть равен 10.

Если емкость $C1 = 1 \text{ мкФ}$, двигатель четырехтактный четырехцилиндровый, имеющий максимальную частоту вращения коленчатого вала $n_{\text{max}} = 6000 \text{ об/мин}$, то $\tau < 0,83 \text{ мс}$ и внутреннее сопротивление преобразователя не должно превышать:

$$R_{\text{вн}} = \frac{\tau}{C1} = \frac{0,83 \cdot 10^{-3} \text{ с}}{10^{-6} \text{ Ф}} = 830 \text{ Ом.}$$

Рассмотрим подробнее влияние $R_{\text{ут}}$ на работу системы. Сопротивление утечки в основном определяется током утечки тиристора, используемого в качестве коммутатора. Максимальное значение тока утечки имеют тиристоры типа КУ202М (Н): до 10 мА при напряжении 400 В. Сопротивление утечки в этом случае:

$$R_{\text{ут}} = \frac{400 \text{ В}}{10 \cdot 10^{-3}} = 40 \text{ кОм.}$$

Таким образом, условие $R_{\text{ут}} \geq R_{\text{вн}}$ выполняется даже и в этом крайнем случае и, следовательно, влиянием сопротивления утечки в системах с непрерывным накоплением энергии можно пренебречь. Тем более что в действительности ток утечки у подавляющего большинства тиристоров этого типа не превышает 0,2–0,3 мА.

В случае если сопротивление утечки по каким-либо причинам станет соизмеримым с внутренним сопротивлением преобразователя, напряжение заряда накопительного конденсатора резко уменьшится и система станет неработоспособной. Энергия преобразователя будет в основном расходоваться в паразитных цепях утечки.

На практике выполнение условия: полный заряд $C1$ до U_b за время между двумя искрами при максимальной частоте вращения вала двигателя — не встречает затруднений. Задавшись определенной энергией W_{C1} и выбрав значение выходного напряжения преобразователя U_b , из выражения

$$C1 = 2W_{C1} / U_b^2$$

определяют емкость накопительного конденсатора. $R_{\text{вн}}$ находится в обратной зависимости от мощности преобразователя: чем больше мощность преобразователя, тем оно меньше.

Применяя достаточно мощный преобразователь, можно добиться того, чтобы энергия W_{C1} , а значит, и вторичное напряжение были постоянными вплоть до самой высокой частоты вращения коленчатого вала двигателя. Что касается малой частоты вращения, очевидно следующее: если накопительный конденсатор успел зарядиться до U_b при максимальной частоте вра-

щения, он тем более успеет зарядиться до этого напряжения при малой частоте вращения коленчатого вала.

На рис. 4.63б дана упрощенная схема замещения для **2-го этапа** рабочего процесса. При ее составлении и анализе приняты следующие допущения: гальваническая связь между обмотками катушки зажигания устранина, искровой контакт распределителя заменен скользящим, распределенные емкости вторичной цепи заменены одной сосредоточенной емкостью C_1 , активные сопротивления обмоток катушки зажигания равны нулю, коэффициент связи между обмотками равен единице, шунтирование вторичной цепи отсутствует.

Согласно схеме замещения после размыкания контактов прерывателя и переключения коммутатора VD_5 в положение 2 в первичной цепи образуется колебательный контур, состоящий из индуктивности L_1 , первичной обмотки W_1 катушки зажигания и суммы емкостей C_1 и вторичной цепи $C_2(W_2/W_1)^2$, приведенной к первичной. Поскольку до коммутации C_1 был заряжен, после нее в первичном контуре возникают собственные затухающие колебания, частота которых (без учета процессов во вторичной цепи) составляет

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1\left[C_1 + C_2\left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2\right]}}. \quad (4.25)$$

Вследствие того, что в момент коммутации параллельно накопительному конденсатору подключается емкость $C_2(W_2/W_1)^2$, напряжение на накопительном конденсаторе уменьшается, и максимум первичного напряжения, определенный из условий сохранения заряда, таков:

$$U_{1\max} = U_b \frac{C_1}{C_1 + C_2\left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2}. \quad (4.26)$$

Очевидно, что если $U_{1\max}$ является максимумом первичного напряжения, то максимум вторичного напряжения определится выражением

$$U_{2\max} = U_{1\max} \frac{W_2}{W_1} = U_b \frac{W_2}{W_1} \frac{C_1}{C_1 + C_2\left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2}. \quad (4.27)$$

Из (4.27) следует, что, выбрав соответствующим образом емкость C_1 так, чтобы $C_1 \geq C_2(W_2/W_1)^2$, можно добиться малой зависимости вторичного напряжения $U_{2\max}$ от значения емкости C_2 , что принципиально невозможно в классической системе зажигания.

Кроме того, в конденсаторной системе зажигания максимум вторичного напряжения мало зависит от значения сопротивления, шунтирующего вторичную цепь. Практика подтверждает, что конденсаторная система зажигания сохраняет работоспособность при низких значениях шунтирующего сопротивления, вплоть до 100 К. Это существенно снижает требования к уходу за свечами зажигания (их чистке, регулировке зазора и т. п.). Срок

использования свечей может быть значительно увеличен, поскольку свечи, которые уже нельзя задействовать в классической системе зажигания, могут удовлетворительно работать в конденсаторной системе.

Это связано с тем, что в качестве коммутатора в конденсаторной системе зажигания обычно применяют тиристоры, время переключения которых, определяющее длительность фронта первичного напряжения, всего несколько микросекунд. Конечно, длительность фронта вторичного напряжения зависит, кроме того, от параметров катушки зажигания. Однако даже при применении катушек от классической системы зажигания фронт импульса вторичного напряжения в конденсаторной системе получается значительно круче, чем в классической.

Очевидно, что потери энергии при конкретных значениях шунтирующего сопротивления и вторичного напряжения пропорциональны времени действия этого напряжения. Поэтому при крутом фронте за время, пока напряжение достигнет максимума, потери будут меньше, чем при пологом фронте. Этим и объясняется малая зависимость $U_{2\max}$ в конденсаторной системе зажигания от сопротивления, шунтирующего вторичную цепь.

Схема с непрерывным накоплением энергии в конденсаторе отличается простотой, технологичностью и надежностью конструкции. Недостаток ее — зависимость энергии накопительного конденсатора от напряжения источника питания. Зимой, когда напряжение батареи при пуске снижается до 7–8 В, конденсатор заряжается до напряжения около 190 В, накопленная энергия в нем снижается в 4 раза и пуск затрудняется.

Конденсаторные системы с импульсным накоплением энергии в емкости позволяют иметь хорошую искру при уменьшении напряжения в бортовой сети до 6,5 В. Но эти системы сравнительно сложнее и дороже. К полупроводниковым приборам, применяемым в них, повышенены требования в отношении токов утечки, которые должны быть не более 0,1 мА.

В системах с импульсным накоплением энергии накопительный конденсатор заряжается одним мощным импульсом сразу же после окончания искрового разряда в свече зажигания (рис. 4.64, 4.65).

Схема включает транзистор $VT1$, который работает в ключевом режиме, повышающий трансформатор $T1$, накопительный конденсатор $C1$, два диода $VD1$, $VD2$, тиристор $VD3$ и катушку зажигания ($K3$).

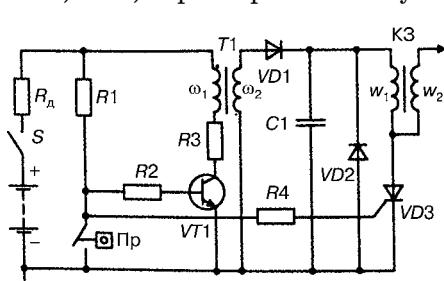


Рис. 4.64
Принципиальная схема тиристорной системы зажигания с импульсным накоплением энергии

При замкнутом выключателе зажигания S и в момент размыкания контактов прерывателя (t_1) $VT1$ переходит в состояние насыщения. Ток управления течет от батареи через резисторы R_d , $R1$ и $R2$, базу и эмиттер транзистора на корпус автомобиля и «–» батареи. Транзистор проводит линейно нарастающий ток первичной обмотки трансформатора $T1$. В магнитном поле $T1$ накапливается энергия. По мере увеличения тока I_b в обмотке ω_1 увеличивается падение напряжения

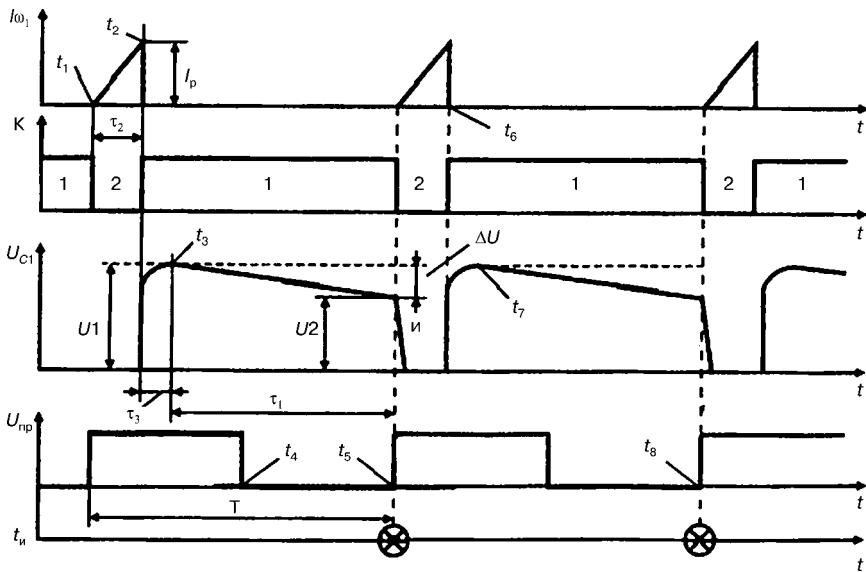


Рис. 4.65

Временные диаграммы работы тиристорной СЗ с импульсным накоплением энергии:
K — положение ключа; t_i — момент искрообразования.

на $R3$. Это напряжение поступает на вход схемы управления, и когда ток достигает заданного значения I_p , ключи $VT1$ и $VD3$ по сигналу от схемы управления закрываются. Ток в обмотке ω_1 прекращается (t_2 , рис. 4.65). Энергия, накопленная в магнитном поле $T1$, равная $L1I_p^2/2$, где $L1$ — индуктивность обмотки ω_1 $T1$, создает в его обмотках импульсы напряжения. Положительный импульс с конца обмотки ω_2 (начала обмоток на рис. 4.64 обозначены точками) проходит через $VD1$ и заряжает $C1$ до напряжения 350 В (t_3). $VD1$ предотвращает разряд $C1$ через обмотку ω_2 после окончания действия импульса.

Если считать, что энергия магнитного поля $T1$ преобразуется в энергию электрического поля $C1$ с коэффициентом полезного действия η , то можно написать:

$$\eta L1I_p^2 = C1U_{C1}^2,$$

откуда напряжение заряда накопительного конденсатора определится выражением

$$U_{C1} = I_p \sqrt{\eta L1 / C1}. \quad (4.28)$$

Таким образом, напряжение заряда накопительного конденсатора не зависит от напряжения питания, и при постоянных значениях η , $L1$ и $C1$ определяется лишь током разрыва I_p . Указанное свойство системы позволяет относительно простыми средствами получить стабилизированное вторичное напряжение. Для этого необходимо иметь схему управления со стабильным порогом срабатывания. Практическая реализация такой схемы не встречает затруднений.

В момент t_4 контакты прерывателя замыкаются, что не оказывает влияния на работу системы. В момент t_5 контакты прерывателя снова размыкаются,

а ключи $VT1$ и $VD3$ открываются. Ключ $VT1$ подключает обмотку $\omega_1 T1$ к источнику питания и через нее снова начинает протекать линейно нарастающий ток. Ключ $S2.2$ подключает заряженный до напряжения 350 В накопительный конденсатор к первичной обмотке $W1$ катушки зажигания. Во вторичной обмотке $W2$ катушки зажигания индуцируется высокое напряжение, которое через распределитель поступает к свечам зажигания. Затем описанные процессы повторяются. В момент t_6 ток в обмотке ω_1 трансформатора достигает заданного значения I_p , в момент t_7 накопительный конденсатор снова заряжается. В момент t_8 контакты прерывателя размыкаются и в свече зажигания происходит искровой разряд.

Между моментами окончания заряда накопительного конденсатора (t_3, t_7 , рис. 4.65) и моментами, когда конденсатор подключается к катушке зажигания (t_5, t_8), проходит интервал времени τ_1 . В течение этого времени накопительный конденсатор разряжается через обратные сопротивления $VD1$, тиристора и собственное сопротивление изоляции; напряжение на нем к моменту искрообразования уменьшается на ΔU . На рис. 4.65 пунктирной линией показан идеальный случай, когда утечки нет.

Чем ниже частота искрообразования и, следовательно, больше период T и интервал τ_1 , тем больше разрядится накопительный конденсатор и тем ниже будет напряжение искрообразования. При значительном токе утечки может случиться, что вторичное напряжение при малых пусковых частотах вращения вала двигателя упадет настолько, что окажется недостаточным для пробоя искрового промежутка свечи зажигания.

Определим допустимый ток утечки во вторичной цепи системы с импульсным накоплением энергии, при котором система остается работоспособной при самых малых пусковых частотах вращения вала двигателя, для которых $\tau_1 \approx T$.

Количество электричества, первоначально запасенное в $C1$, составляет

$$Q1 = C1U1, \quad (4.29)$$

где $C1$ — емкость накопительного конденсатора; $U1$ — первоначальное напряжение его заряда.

Суммарный ток утечки во вторичной цепи обозначим I_{yt} . Тогда количество электричества, потерянное накопительным конденсатором за время $\tau_1 \approx T$:

$$\Delta Q = I_{yt}T = \frac{I_{yt}}{F}, \quad (4.30)$$

где F — частота искрообразования.

Количество электричества, оставшееся в накопительном конденсаторе к моменту искрообразования, определим выражением

$$Q2 = Q1 - \Delta Q = C1U1 - \frac{I_{yt}}{F}, \quad (4.31)$$

а напряжение $U2$ на накопительном конденсаторе, соответствующее этому количеству электричества, определится как:

$$U2 = \frac{Q2}{C1} = U1 - \frac{I_{yt}}{FC1}. \quad (4.32)$$

Следовательно, уменьшение напряжения к моменту искрообразования

$$\Delta U = \frac{I_{\text{ут}}}{FC1}. \quad (4.33)$$

Окончательное выражение для определения допустимого суммарного тока утечки (mA) четырехтактного четырехцилиндрового двигателя будет иметь вид:

$$I_{\text{ут}} \leq nC1U1 \frac{\gamma}{3}, \quad (4.34)$$

где n — частота вращения вала двигателя, об/мин; $\gamma = 100 \cdot \Delta U / U1$ — допустимое уменьшение напряжения искрообразования при частоте n , %; $U1$ — первоначальное напряжение заряда накопительного конденсатора, В; $C1$ — емкость накопительного конденсатора, мкФ.

В качестве примера определим допустимое значение тока утечки для следующего практического случая: минимальная пусковая частота вращения вала двигателя $n_{\min} = 150$ об/мин; $C1 = 1$ мкФ; первоначальное напряжение на накопительном конденсаторе $U1 = 350$ В, а допустимое его уменьшение $\gamma = 15\%$ ($\Delta U = 52$ В):

$$I_{\text{ут}} \leq 150 \cdot 10^{-6} \cdot 350 \cdot 15/3 = 0,26 \text{ mA.}$$

Как было указано выше, ток утечки тиристора типа КУ202М (Н) согласно его техническим условиям может достигать 10 мА, но, несмотря на это, такой тиристор работоспособен в системе с непрерывным накоплением энергии. Для системы же с импульсным накоплением он непригоден. Даже если ток утечки тиристора будет равен 1 мА, то напряжение искрообразования при пусковой частоте вращения вала двигателя $n = 150$ об/мин уменьшится на 57%, т. е. к первичной обмотке катушки зажигания будет подводиться не 350 В, а всего 150 В, и система будет неработоспособна.

В связи с этим тиристоры для систем с импульсным накоплением энергии необходимо специально отбирать по току утечки. На практике, правда, это не встречает затруднений, так как у подавляющего большинства тиристоров ток утечки составляет 0,2–0,3 мА.

Как и в системе с непрерывным накоплением энергии, в данном случае необходимым условием нормальной работы системы является также полный заряд накопительного конденсатора к моменту новообразования при максимальной частоте вращения вала двигателя.

Из рис. 4.65 видно, что время заряда накопительного конденсатора складывается из двух фаз: времени τ_2 нарастания тока в обмотке ω_1 у $T1$ и времени τ_3 непосредственного заряда конденсатора после разрыва тока. Ввиду того, что ω_1 начинается одновременно с размыканием контактов прерывателя, условие нормальной работы системы с импульсным накоплением для четырехтактного двигателя будет иметь вид:

$$\tau_2 + \tau_3 \leq 120/zn_{\max}, \quad (4.35)$$

где z — число цилиндров; n_{\max} — максимальная частота вращения вала двигателя.

Сравнение этого условия и для СЗ с непрерывным накоплением показывает, что оно менее жесткое и на практике его выполнение не встречает затруднений.

Процессы, происходящие в момент размыкания контактов прерывателя и переключения ключа в положение 2, в системе с импульсным накоплением энергии не отличаются от аналогичных процессов в системе с непрерывным накоплением.

Системы с импульсным накоплением энергии имеют наибольшую скорость нарастания высокого напряжения. Но длительность индуктивной составляющей искрового разряда в свечах уменьшена от единиц миллисекунд (в системах с накоплением энергии в индуктивности) до десятков или сотен микросекунд. Это ухудшает воспламенение и сгорание рабочей смеси на средних нагрузках и, следовательно, приводит к повышению расхода топлива и токсичности отработанных газов. Для устранения указанных недостатков надо корректировать автоматы опережения зажигания и увеличивать зазор в свечах до 1,2–1,5 мм, что приводит к дальнейшему возрастанию вторичного напряжения и напряженной работе изолирующих частей высоковольтной системы.

4.5.4. БЕСКОНТАКТНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ БЕСКОНТАКТНЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

В бесконтактных системах зажигания (БСЗ) контакты прерывателя заменены бесконтактным датчиком, который вырабатывает электрические импульсы в строго заданные моменты времени. Эти импульсы поступают в схему управления током (импульсный усилитель) первичной обмотки катушки зажигания. Бесконтактные датчики не имеют механического контакта и поэтому практически не подвержены износу.

В наиболее простых бесконтактных системах зажигания (рис. 4.66) устройство управления 4 преобразует сигналы с датчика 1, осуществляя усиление его мощности, и производит коммутацию выходного каскада, нагрузкой которого служит катушка зажигания 5, т. е. реализуются характеристики, присущие ранее рассмотренным системам зажигания. При этом используются те же механические автоматы опережения зажигания, что и в классической, и в контактно-транзисторной системах.

Электронное устройство 4, функционально и конструктивно объединяющее формирователь 2 и выходной каскад 3, в отечественной литературе принято называть коммутатором.

По аналогии с углом замкнутого состояния контактов в классических и контактно-транзисторных системах зажигания угол включенного состояния

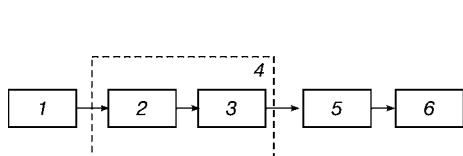


Рис. 4.66
Блок-схема бесконтактной
системы зажигания:

1 — бесконтактный датчик углового положения КВ двигателя; 2 — формирующий каскад; 3 — выходной каскад; 4 — коммутатор; 5 — катушка зажигания; 6 — распределитель.

выходного транзистора $\alpha_{вкл}$ в данных БСЗ постоянный и не связан с частотой вращения вала двигателя и напряжением батареи. Следовательно, время накопления t_n энергии в зависимости от частоты вращения коленчатого вала n изменяется по жесткому закону: $t_n = \alpha_{вкл}/6n$, т. е. увеличивается с уменьшением частоты вращения. В такой системе увеличение тока разрыва неизбежно приводит к увеличению мощности, рассеиваемой катушкой зажигания, добавочным сопротивлением и транзисторным коммутатором в диапазоне малых и средних частот вращения вала двигателя.

Отмеченный недостаток не позволяет в рамках БСЗ с постоянным углом включенного состояния выходного транзистора вести дальнейшую интенсификацию выходных характеристик. Поэтому следующим этапом в развитии БСЗ явилось создание систем зажигания с нормируемым временем накопления энергии, где во всем диапазоне частот вращения вала двигателя и значений питающего напряжения определяется минимальное время, за которое ток разрыва I_p достигает величины, необходимой для индуцирования требуемого значения вторичного напряжения.

Нормирование времени накопления энергии позволяет:

- снизить мощность потерь в катушке и коммутаторе при низких и средних частотах вращения вала двигателя при одновременном увеличении тока разрыва и соответственно энергии искрового разряда;
- обеспечить оптимальный закон изменения вторичного напряжения и энергии искры в зависимости от частоты вращения вала двигателя;
- стабилизировать выходное напряжение системы при колебаниях напряжения питания.

БСЗ с нормированием времени накопления энергии реализуются путем введения в коммутатор специального электронного регулятора времени накопления.

Основными недостатками бесконтактных систем зажигания являются механический способ распределения энергии по цилиндрям двигателя, несовершенство механических автоматов угла опережения зажигания, погрешности момента искрообразования из-за механической передачи от коленчатого вала двигателя к распределителю.

Наиболее полно отвечают всем требованиям, предъявляемым к современным системам зажигания, системы с электронным регулированием угла опережения зажигания. Среди способов реализации этих систем можно выделить два основных: аналоговый и цифровой. Аналоговый способ относится к электронным системам зажигания более раннего поколения, когда элементная база, используемая для их построения, имела малую степень интеграции (системы зажигания II поколения). Цифровые системы зажигания (системы зажигания III поколения) являются более совершенными. В основу их работы положены принципы, широко применяемые в вычислительной технике.

Цифровые регуляторы представляют собой небольшие, различные по сложности вычислители, порядок работы которых задается специальным алгоритмом. Блок-схема цифровой системы зажигания (ЦСЗ) со статическим распределением энергии по цилиндрам представлена на рис. 4.67.

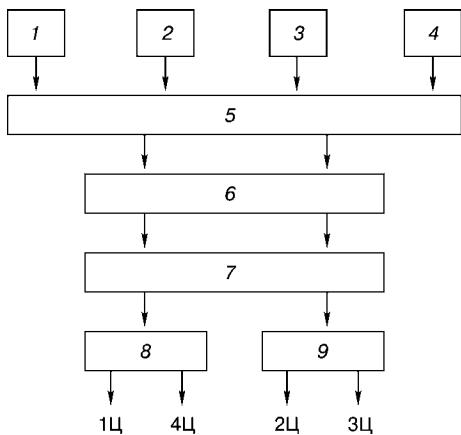


Рис. 4.67

Статическое распределение энергии по цилиндрам в системе зажигания:

1 — датчик положения коленчатого вала двигателя; 2 — датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя; 3 — датчик нагрузки; 4 — датчик температуры; 5 — интерфейс; 6 — вычислительное устройство; 7 — двухканальный коммутатор; 8, 9 — двухскровые (с двумя высоковольтными выводами) КЗ.

Во время работы двигателя датчики 1—4 передают информацию о частоте вращения и нагрузке двигателя, положении коленчатого вала, температуре двигателя и окружающей среды. На основании этой информации, обработанной в интерфейсе 5, вычислительное устройство 6 определяет оптимальный для данного режима угол опережения зажигания. В рамках ЦСЗ возможно применение как традиционного механического распределителя, в функции которого остается лишь высоковольтное распределение энергии по цилиндрам двигателя, так и метода статистического распределения энергии. В этом случае для четырехцилиндрового двигателя, например, применяется двухканальный коммутатор 7, два выходных транзистора которого по-переменно коммутируют ток в первичных обмотках двухвыходовых или однодорожных катушек зажигания. При этом блок управления формирует два сигнала, управляющих работой коммутатора.

И все же цифровые системы зажигания явились переходным этапом. Последним достижением в этой области стали микропроцессорные системы (системы IV поколения). Они практически не отличаются от управляющих ЭВМ, широко применяемых в настоящее время во многих областях науки и техники. Микропроцессорные системы управления автомобильным двигателем лишь чисто условно можно отнести к системам зажигания, так как функция непосредственного зажигания является в них частью решения вопроса об оптимизации характеристик двигателя, однако именно в комплексных системах управления двигателем и заключен прогресс системы зажигания.

БСЗ с одним индукционным датчиком

Рассмотрим систему зажигания с одним индукционным датчиком, которая применяется в ряде зарубежных автомобилей. Эта система зажигания является смешанной. Схема блока управления системой зажигания представлена на рис. 4.68.

Конструктивно система состоит из типовых узлов стандартного состава и типовой компоновки:

- транзисторный коммутатор (блок управления), в который входит усилитель мощности, оконечный каскад которого выполнен на транзисторе Дарлингтона VT5, VT6 (в виде интегральной микросхемы) с предоконечным каскадом VT4;

- формирователь длительности импульса накопления на транзисторе $VT3$ и формирователь прямоугольных импульсов на транзисторах $VT1$, $VT2$ (триггер Шмитта);
- датчик-распределитель зажигания (на схеме не показан), в который входят индукционный датчик D , механический двухпараметрический фазовращатель (формирователь фазы импульса зажигания с двумя автоматами ($\Phi\Phi_{из}$)) и высоковольтный распределитель импульсов зажигания со встроенным в ротор центробежным датчиком ограничителя максимальной частоты вращения коленчатого вала;
- высоковольтный импульсный трансформатор (катушка зажигания фирмы Bosch) с низкоомной первичной обмоткой $H(L)$;
- свечи зажигания ($FV1$ – 6).

Работает система зажигания следующим образом. Для питания блока управления применяется вторичная ступень стабилизации напряжения на параметрическом стабилизаторе, включающем элементы участка A принципиальной схемы: стабилитрон $VD1$, резистор $R1$, конденсаторы фильтра $C1$ и $C2$ и диод $VD2$ защиты против напряжения обратной полярности. Сигнал с индукционного датчика с требуемой фазой, соответствующей определенному угловому положению вала, которая формируется $\Phi\Phi_{из}$, поступает на вход 7 блока управления. По форме сигнал с датчика близок к двухполарному синусоидальному сигналу. Через кремниевый диод $VD6$ на базу транзистора $VT1$ поступают отрицательные импульсы переменного управляющего напряжения, положительные импульсы на базу не пропускаются.

Для работы системы зажигания необходимо переменное напряжение с датчика преобразовать в прямоугольные импульсы. Эта операция осуществляется

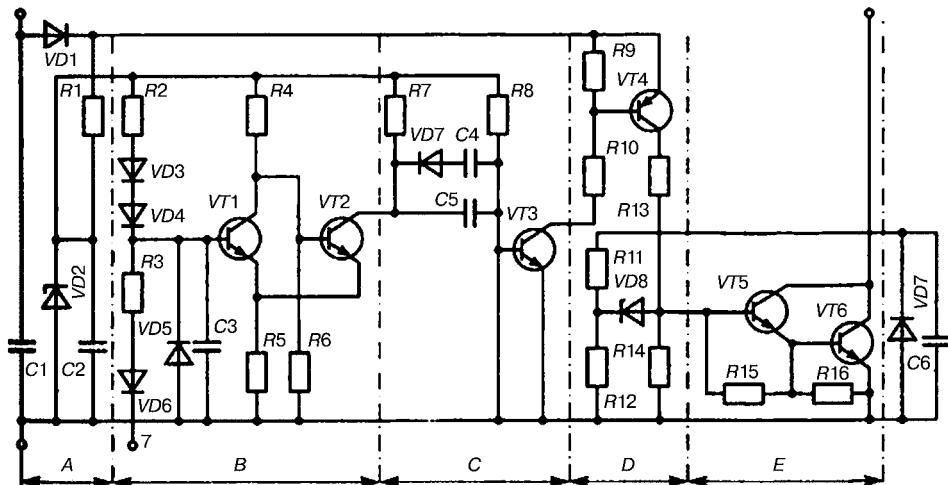


Рис. 4.68

Схема блока управления системы зажигания с индуктивным датчиком и электронным отключением тока в первичной обмотке высоковольтного трансформатора:

A — элементы стабилизатора напряжения; B — элементы формирователя длительности импульса накопления; C — участок схемы; D — предоконечная ступень усилителя мощности; E — оконечная ступень на транзисторе Дарлингтона.

триггером Шмитта, выполненным на элементах участка *B* принципиальной схемы. Когда напряжение на входе триггера становится равным пороговому значению, *VT1* открывается, а *VT2* закрывается. Формирователь импульсов не проводит ток в течение интервала времени τ_d (импульс датчика). Это состояние будет сохраняться до тех пор, пока напряжение не станет ниже порогового значения. *VT1* запирается на время (время паузы). На базу *VT2* поступает положительное напряжение через *R4*, и он открывается. На выходе триггера чередуются импульсы τ_d и τ_p с частотой вращения приводного валика распределителя. Два последовательно включенных диода *VD3* и *VD4* служат для температурной компенсации.

С помощью элементов участка схемы *C* в блоке управления оптимизируется длительность импульса датчика, который является импульсом накопления энергии, чтобы на любом рабочем режиме двигателя ток в первичной обмотке достигал заданного значения и было достаточно высокое напряжение для возникновения искры на свече зажигания. Импульс времени накопления энергии определяется началом прямоугольного импульса, который поступает на предоконечный каскад усилителя мощности в блоке управления (*VT4* участка *D*). В рассматриваемом устройстве формирование длительности осуществляется с помощью *RC*-цепочки, т. е. с помощью заряда и разряда конденсатора через резисторы.

Ток *VT4* управляет мощной оконечной ступенью (транзистором Дарлингтона), которая коммутирует ток в первичной обмотке трансформатора зажигания. Ток базы *VT6* задается *VT5*, который усиливает сигнал с предварительного каскада. Транзистор включен по схеме с открытым коллектором.

Чтобы получить максимальную мощность в системе зажигания при минимальных потерях в катушке зажигания и оконечном транзисторе, силу тока в первичной цепи нужно регулировать в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя и напряжения аккумуляторной батареи.

Время протекания тока в первичной обмотке также регулируется в зависимости от этих параметров. В конце периода протекания тока по первичной цепи он должен достигать заданного значения. На низких частотах вращения коленчатого вала, когда длительность импульса датчика велика, сила тока успевает вырасти до номинального значения. Оконечная ступень ограничивает силу тока так, что заданное ее значение, достигнутое заранее в первичной цепи, поддерживается постоянным до момента искрообразования.

Чтобы поддержать вторичное напряжение постоянным, не зависящим от частоты вращения коленчатого вала, схема формирования увеличивает время импульса накопления с ростом частоты вращения коленчатого вала. Для достижения силы тока в первичной цепи при пониженном напряжении аккумуляторной батареи нужно также увеличивать длительность импульса накопления.

Схема управления временем накопления работает так, что в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и напряжения аккумуляторной батареи изменение времени накопления обусловлено изменением момента начала протекания тока по первичной цепи, в то время как окончание времени накопления, а следовательно, момента искрообразования, не меняется.

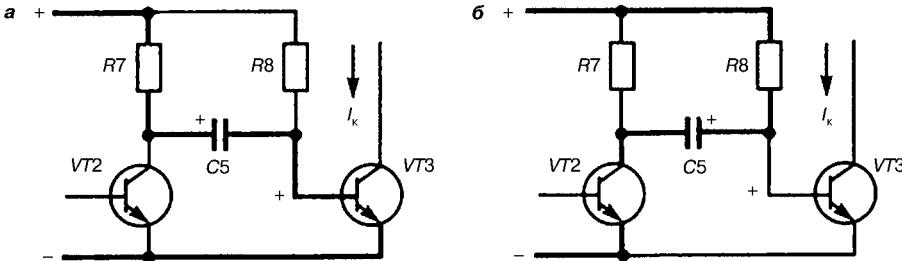


Рис. 4.69

Схема формирования длительности импульса накопления энергии:

a — заряд конденсатора; *b* — разряд конденсатора.

Упрощенная схема формирования длительности импульса накопления энергии показана на рис. 4.69.

В качестве RC -звена используются конденсатор $C5$ и резисторы $R7$ и $R8$. Если транзистор триггера $VT2$ находится в закрытом состоянии, то $C5$ заряжается через $R7$ и переход «база — эмиттер» транзистора $VT3$ (жирная линия) током коллекторной цепи I_k . При низкой частоте вращения напряжение конденсатора составляет около 12 В. В это время $VT3$ открыт и по первичной обмотке протекает ток. В момент искрообразования t_{io} открывается $VT2$ и $C5$ разряжается через $R8$ и $VT2$. Пока протекает ток разряда, $VT3$ закрыт, так как потенциал его базы отрицательный относительно его массы. Он включится в тот момент, когда поменяется полярность на выводах $C5$. Конденсатор начнет заряжаться, процесс будет продолжаться до тех пор, пока $VT2$ опять не закроется. Затем повторится процесс заряда конденсатора через $R7$ и переход «база — эмиттер» $VT3$ с момента начала импульса накопления.

С ростом частоты вращения коленчатого вала уменьшается время заряда $C5$, соответствующего полному напряжению аккумуляторной батареи. Соответственно конденсатор раньше разрядится, что приведет к раннему началу формирования импульса и, следовательно, к большему времени замкнутого состояния контактов.

Так как в системе зажигания уже отсутствуют ограничительные резисторы, оконечная ступень должна дополнительно выполнять задачи ограничителя силы тока, в отличие от прежних систем зажигания. В этом случае можно применять катушки зажигания с низкоомными первичными обмотками и регулирование тока отключения. Тогда максимальная сила тока в первичной цепи определяется уже не только общим сопротивлением первичной цепи, но и ограничителем тока в блоке управления.

Чтобы система зажигания не потребляла электроэнергию от аккумуляторной батареи и не перегревалась при остановленном двигателе и включенном зажигании, транзисторная оконечная ступень выключается устройством безыскровой отсечки зажигания через несколько секунд после остановки двигателя. Как только двигатель запускается, система зажигания опять работоспособна.

Ограничение напряжения, подавление помех и защита от перенапряжения аналогичны применяемым в транзисторных системах зажигания.

БСЗ С ДАТЧИКОМ НА ЭФФЕКТЕ ХОЛЛА

Представителем рассматриваемого класса систем является система зажигания для двигателя переднеприводных автомобилей семейства ВАЗ-2108, ВАЗ-2109. Этот двигатель работает при высоких степенях сжатия и на обедненных смесях, что требует повышения пробивного напряжения и увеличения энергии и длительности искрового разряда. Электронная часть системы стала классической для систем зажигания с электронным отключением тока в первичной обмотке.

Структурная схема системы зажигания с датчиком на эффекте Холла представлена на рис. 4.70.

Конструктивно система состоит из типовых узлов стандартного состава и типовой компоновки (рис. 4.71).

Электронный коммутатор типа 36.3734 включает формирователь прямоугольных импульсов (ФПИ) с инвертором, формирователь постоянной длительности импульса накопления (ФПД), формирователь амплитуды тока в первичной обмотке (ФА_т) с усилителем мощности и устройство отключения

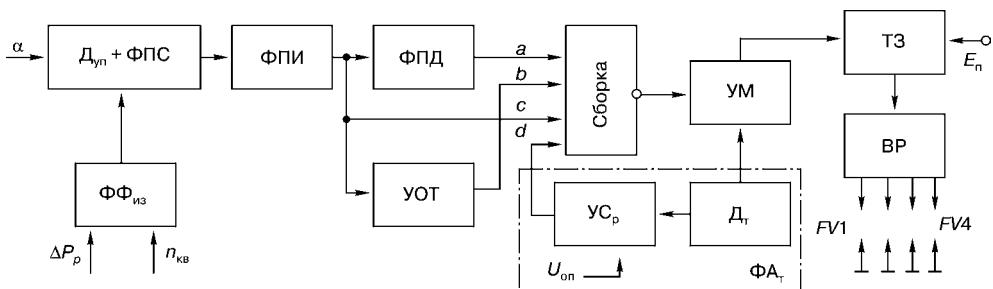


Рис. 4.70

Структурная схема системы зажигания с датчиком, использующим эффект Холла

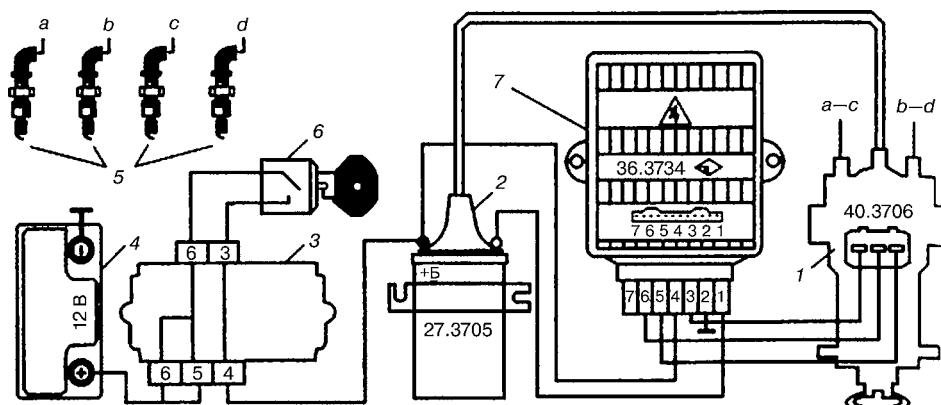


Рис. 4.71

Конструктивная компоновка системы зажигания двигателя автомобиля ВАЗ-2108:

- 1 — датчик-распределитель; 2 — трансформатор зажигания; 3 — монтажный блок; 4 — батарея;
- 5 — свечи зажигания; 6 — выключатель зажигания; 7 — коммутатор.

тока (УОТ) в первичной обмотке при неработающем двигателе. Датчик-распределитель типа 40.3706 включает датчик на эффекте Холла, механический двухпараметрический формирователь фазы импульса зажигания $\Phi_{\text{из}}$ и высоковольтный распределитель импульсов зажигания.

Датчик на основе эффекта Холла является статическим. При остановке вала двигателя и включенном выключателе зажигания на выходе датчика может сохраняться сигнал. Поэтому при использовании датчика на эффекте Холла приходится вводить в систему специальное устройство для отключения тока (устройство безыскрового отключения тока первичной обмотки трансформатора зажигания), которое через несколько секунд после остановки двигателя при включенном ключе зажигания запирает выходной транзистор усилителя мощности, что усложняет конструкцию. Система зажигания включает также индуктивный накопитель энергии $H(L)$ в виде трансформатора зажигания (катушки зажигания типа 27.3705) с низкоомной первичной обмоткой и свечи зажигания $FV1-FV4$.

Коммутатор 36.3734 выполняет следующие функции:

- формирование постоянной длительности накопления энергии;
- формирование амплитуды импульса тока в первичной обмотке;
- отключение тока первичной обмотки в случае остановки двигателя при включенном выключателе зажигания и наличии сигнала на выходе датчика.

Работа системы зажигания протекает следующим образом. Сигнал с датчика с помощью ФПС и ФПИ преобразуется в прямоугольные импульсы постоянной скважности (отношение периода следования импульсного сигнала к длительности импульса). Для импульса соответственно длительности паузы выбирается скважность, равная трем. После ФПИ сигнал можно рассматривать как сигнал с логическими уровнями («0» и «1»), причем амплитуда сигнала информации не несет. Такой сигнал поступает на ФПД, где он стабилизируется на определенном уровне по длительности при изменении частоты вращения ротора датчика от f_{\max} до f_{\min} .

Импульс a заданной длительности с выхода ФПД через элемент «Сборка» поступает на усилитель мощности, который управляет током первичной цепи. Как известно, также формирователи могут поддерживать постоянную длительность импульса только до определенной частоты. После этой частоты, например f_{\max} , система зажигания работает как обычная система без ФПД и усилитель мощности управляет сигналом с прямо от ФПИ. За время импульса накопления ток в первичной обмотке должен достичь заданной величины, обеспечивающей получение необходимого вторичного напряжения. Если ток превышает это значение, что ведет к перегреву трансформатора и выходного транзистора, включается в работу система автоматического регулирования тока (Φ_{A_t}). Сигнал с датчика D сравнивается в устройстве сравнения (УСр) с опорным напряжением, и при превышении его заданного значения сигнал обратной связи (САР) через элемент «Сборка» управляет усилителем мощности. «Сборку» можно рассматривать как логический элемент, только с разными коэффициентами передачи. Сигналы a, b, c являются двухпозиционными управляющими сигналами, переводящими выходной транзистор УМ из режима насыщения в режим отсечки. По сигналу d транзистор

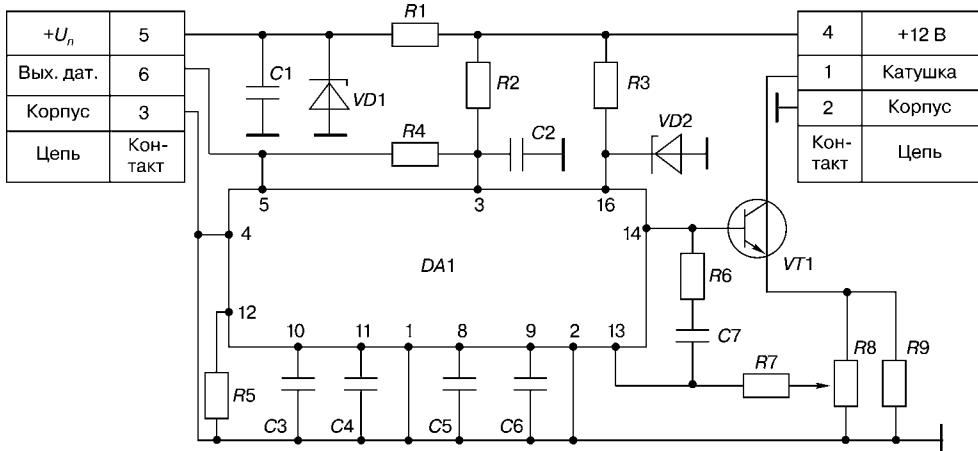


Рис. 4.72
Принципиальная электрическая схема коммутатора типа 3620.3734

усилителя мощности переводится в активный режим, чем обеспечивается трехпозиционное регулирование. При остановке двигателя через несколько секунд сигналом с УОТ входной транзистор УМ запирается.

Использование в автомобилестроении традиционного конструирования электронных устройств на дискретных элементах и низкая технологическая база не позволили в свое время воплотить передовые идеи в промышленный образец коммутатора типа 36.3734.

Низкая надежность, большие габариты и масса, низкая технологичность за счет большого количества ручных операций по установке дискретных элементов — основные недостатки разработанной конструкции.

Кроме того, в системе зажигания с коммутатором типа 36.3734, как и в простейшей контактной системе, управление моментом подачи искры осуществляется с помощью механических автоматов опережения зажигания (центробежного и вакуумного), не обеспечивающих управление работой двигателя по оптимальному (с точки зрения получения максимальной мощности, экономичности, низкой токсичности отработанных газов) алгоритму управления.

Разработка интегральных схем на базе схемотехнических решений коммутатора типа 36.3734 (рис. 4.72) позволила создать систему управления зажиганием ДВС, широко используемую на многих автомобилях.

Здесь специализированная микросхема выполняет практически все функции, реализованные в коммутаторе типа 36.3734:

- управляет силовым транзистором усилителя мощности, отключающим ток в первичной цепи трансформатора;
- формирует постоянную длительность импульса накопления;
- регулирует ток в первичной обмотке на заданном уровне;
- отключает выходной транзистор при наличии сигнала с датчика при остановленном двигателе;
- защищает схему от перенапряжений в бортовой сети и инверсного включения источника питания.

Дополнительной функцией является переход в режим расширения длительности импульса накопления, если ток отключения составляет 0,9–0,94 от номинального значения.

В качестве выходного транзистора $VT1$ применен транзистор Дарлингтона со встроенным стабилитроном. Навесные конденсаторы $C3$ – $C6$ совместно с резистором $R5$ обеспечивают выполнение микросхемой основных функций. Резисторы $R8$ и $R9$ выполняют функции датчика амплитуды первичного тока. Через резистор $R7$ напряжение, пропорциональное току, передается на микросхему $DA1$. Для обеспечения нормальной работы согласующего устройства датчика, выполненного на микросхеме, требуются определенная величина напряжения питания и повышенные его качества. Для этого на элементах $R1$, $C1$ и стабилитроне $VD1$ собран параметрический стабилизатор второй ступени стабилизации для микросхемы датчика. Микросхема датчика формирует заданную скважность и прямоугольную форму импульсов. На элементах $R3$ и стабилитроне $VD2$ собран параметрический стабилизатор второй ступени стабилизации для $DA1$. Резистор $R4$ согласует сигнал с датчика с входом схемы $DA1$. Кратковременные всплески высокого напряжения, а также перенапряжения обратной полярности гасятся фильтром на элементах $R2$, $C2$. Резистор $R3$ определяет силу тока базы выходного транзистора и, следовательно, значение тока в первичной цепи. Цепочка обратной связи $R6$, $C7$ улучшает качество переходного процесса при регулировании первичного тока.

На базе рассмотренной схемы разработан коммутатор с двумя группами каналами типа 64.3734-20 для систем с двухступенчатым распределением каналов. В нем в качестве $DA1$ используется микросхема L497B, которая заменяет отечественный аналог — специализированную микросхему КР1055ХП1. В коммутаторе 6420.3734 как выходной транзистор применена микросхема BY931ZPF1, поставляемая зарубежными фирмами. Она имеетстроенную защиту и повышает надежность работы коммутатора.

Дополнительно в коммутаторах устанавливают информационные преобразователи для тахометра, которые формируют сигнал, пропорциональный частоте вращения коленчатого вала.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ УЗЛОВ БСЗ

Контроллер системы зажигания с датчиком Холла L497B (DIP16) — КР1055ХП1, КР1055ХП2, КР1055ХП4/L497D1 (SO16)

L497 — интегральный регулятор электронного зажигания. Предназначен для уменьшения количества деталей системы зажигания, использующей датчик Холла. Устройство управляет выходным $n-p-n$ -транзистором Дарлингтона, чтобы регулировать ток катушки зажигания для обеспечения заданного накопления энергии с низкими потерями. Особенность L497 — программируемое время восстановления коэффициента задержки td/T , когда пиковое значение тока катушки зажигания будет не в состоянии достигать 94% от номинальной величины. Таким образом, только одна искра может иметь энергию меньше чем 94% номинала во время быстрого ускорения или запуска холодного двигателя.

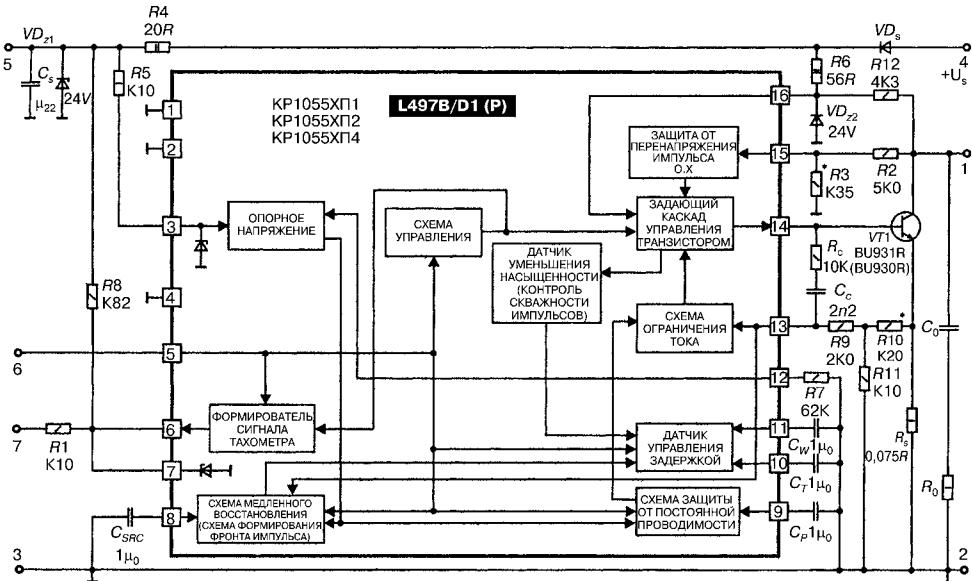


Рис. 4.73
Схема интегрального регулятора с навесными элементами

Структурная схема L497B/L497D1 (P) с навесными элементами представлена на рис. 4.73.

Она реализует следующие функции.

Задача Дампа реализована внешним стабилитроном, если эта функция необходима. VD_{Z1} защищает выходной каскад, выходной транзистор на выводе 6 защищает соединение выводов 6 и 7. Кроме того, VD_{Z1} защищает вход источника питания (вывод 3) и датчик Холла. Резистор R_4 необходим для ограничения тока VD_{Z1} во время перегрузки.

При частоте ниже 10 Гц (300 об/мин для 4-цилиндрового двигателя) время выключения достигает предельного значения (50 мс), затем схема постепенно теряет управление длительностью замкнутого состояния контактов прерывателя, так как $D = T - 50$ мс.

При 200 Гц (6000 об/мин для 4-цилиндрового двигателя) полезное время для проводимости меньше 3,5 мс.

Если используемая катушка зажигания имеет параметры 6 мГн, 6 А, время выключения уменьшается, чтобы установиться на нуль, и схема теряет управление длительностью замкнутого состояния контактов прерывателя.

Уменьшение времени насыщенности в статических условиях. В статических условиях при $C_T = C_W$ (как рекомендуется) и если используются значения схемы (рис. 4.73)

$$\frac{td}{T} = \frac{1}{1 + I_{11C}/I_{11D}}.$$

Переходная характеристика. Система зажигания должна поддерживать энергию постоянной даже в условиях ускорения и уменьшения оборотов дви-

гателя ниже 80 Гц. Эти состояния могут моделироваться посредством сигналов генератора с линейно модулируемой частотой между 1 и 200 Гц (соответствует изменению от 30 до 6000 об/мин для 4-цилиндрового двигателя).

Управление длительностью замкнутого состояния контактов прерывателя. Управляющая цепь длительности замкнутого состояния контактов прерывателя определяет время проводимости D выходного транзистора относительно частоты вращения КВ двигателя, питающего напряжения и характеристики катушки зажигания.

На отрицательном крае заднего фронта входного сигнала датчика Холла конденсатор C_W начинает разряжаться с постоянным током I_{11D} . Когда пиковое значение тока катушки зажигания достигнуто, заряды конденсатора с постоянным током $I_{11C} = 13,3I_{11D}$ и ток катушки зажигания сохраняется постоянным за счет уменьшения времени насыщенности блоком управления и силового выходного трансформатора.

Конденсатор C_T заряжается на положительном крае переднего фронта входного сигнала датчика Холла с постоянным током I_{10C} . Длительность замкнутого состояния контактов прерывателя и, следовательно, исходная точка проводимости тока катушки зажигания определяются отношением между U_{10} и U_{11} .

Положительный гистерезис добавлен к компаратору задержки, чтобы избежать побочного эффекта, и C_T быстро разряжается на отрицательном крае входного сигнала датчика Холла. Таким образом, среднее напряжение на C_W увеличивается, если частота вращения двигателя уменьшается, и, наоборот, увеличивается, чтобы поддерживать постоянное отношение td/T при любой частоте вращения двигателя. Данное отношение сохраняется постоянным, чтобы управлять мощностью рассеивания и иметь достаточное время для устранения низких энергетических искровых разрядов во время ускорения.

Задача от постоянной проводимости. Схема защиты от постоянной проводимости контролирует входной сигнал. Зарядка C_p происходит постоянным током, когда сигнал датчика — высокого уровня, и разряжается при его низком уровне. Если входной итоговый остаток высок в течение времени дольше чем T_p , напряжение на C_p достигает внутреннего фиксированного значения, вынуждающего к постепенному уменьшению тока катушки зажигания, чтобы установить его на нуль. Так удается избежать нежелательных искр. Когда входной сигнал снова идет на низком уровне, C_p стремительно разряжается и текущий контур управления работает как обычно. Время запаздывания $T_p = 18C_pR7$, где $R7$ — резистор смещения на выводе 12 (в К) и C_p — конденсатор задержки на выводе 9 (в мкФ).

Управление медленным восстановлением. Если I_{sense} не достиг 94% от номинальной величины перед отрицательным краем входного сигнала датчика Холла, конденсаторы C_{SRC} и C_W быстро разряжаются, пока сигнал датчика низкий. На следующем положительном входном сигнале ток нагрузки стремительно растет до достижения максимума T_{desat} , тогда напряжение на конденсаторе C_{SRC} линейно увеличивается до верхнего уровня. В течение этого времени восстановления T_{SRC} напряжение преобразовано в ток, который

поступает от тока зарядки конденсатора задержки и модуляции T_{desat} . Это означает, что T_{desat} медленно уменьшается до определенного значения (после времени T_{SRC}), его номинальная величина — 7%. Время T_{SRC} представлено формулой $T_{SRC} = 12,9R7C_{SRC}$, где $R7$ — резистор смещения на выводе 12 (в К); C_{SRC} — конденсатор вывода 8 (в мкФ).

Ограничение тока. Ток в катушке зажигания проверяется измерением I_{sense} , текущим через индикаторный резистор считывания R_S на эмиттере силового транзистора. Формула для $I_{sense} = I_{coil} + I_{14}$. Когда падение напряжения на резисторе R_S достигает внутреннего порогового значения компаратора, контур обратной связи будет инициирован, форсируя переход выходного транзистора в активную область, и I_{sense} сохраняется постоянным. Тогда $I_{sense} = I_{coil}$. Когда максимальный ток катушки зажигания, заданный резистором R_S , должен быть уменьшен или увеличен, используется вспомогательный делитель

$$R_{10}/R_{11}: I_{peak} = 0,32/R_S(R_{10}/R_{11} + 1).$$

Защита от отрицательного импульса. Если требуется правильная работа в течение коротких отрицательных импульсов, следует использовать диод VD_S и конденсатор C_S .

Ограничение перенапряжения. Напряжение коллектора внешнего транзистора считывается делителем напряжения $R2, R3$. Увеличение $R2$ или уменьшение $R3$ приводит к увеличению порога ограничения напряжения. Цепочка R_0, C_0 является элементом колебательного контура ударного возбуждения, т. е. определяет величину и скорость нарастания вторичного напряжения в системе зажигания. R_0 ограничивает емкостной ток через выходной транзистор в момент отпирания последнего, если C_0 разряжен. Значения R_0 и C_0 зависят от используемого внешнего транзистора. Кроме того, $R13$ ограничивает перенапряжение, даже когда питающее напряжение отключено во время перенапряжения.

КР1055ХП1 («ВЗПП», Воронеж), КР1055ХП2 («КРЕМНИЙ», Брянск) и КР1055ХП4 («ОРБИТА», Саранск) являются полными аналогами L497B (параметры и назначение выводов полностью совпадают). КР1055ХП1, КР1055ХП2, КР1055ХП4 отличаются только использованием корпуса.

4.5.5. СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ НА ДИСКРЕТНО-КОДОВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Использование в системах зажигания дискретно-кодовых (логических) элементов позволило резко повысить качество процесса управления двигателем. В таких системах применяются частотно-временные и кодовые виды модуляции, формирователи фазы и амплитуды импульса зажигания строятся на основе функциональных преобразователей и устройств обработки информации. Эти преобразователи могут воспроизводить сложные математические операторы как функциональные зависимости нескольких переменных.

В основе всех УОИ частотно-временных и кодовых сигналов лежит арифметическое устройство — сумматор. В общем случае может использоваться арифметико-логическое устройство (АЛУ).

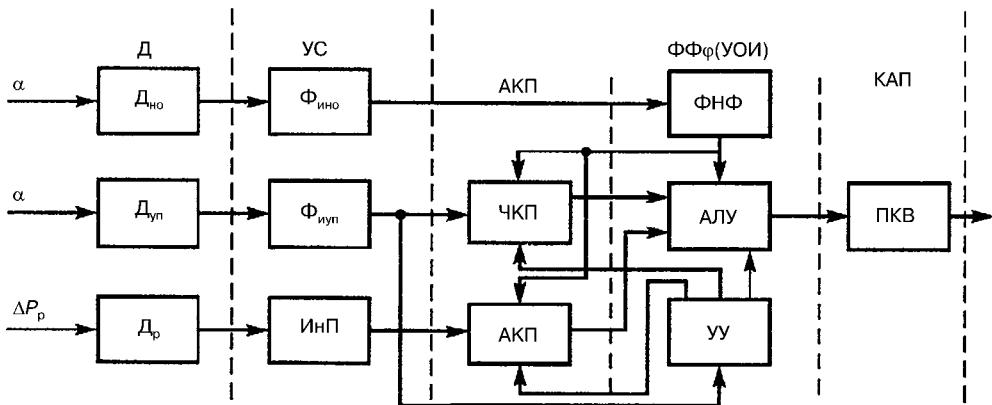


Рис. 4.74
Схема входной части системы зажигания

Типовая структурная схема входной части системы на дискретно-кодовых элементах представлена на рис. 4.74.

В систему входят следующие элементы:

- $\Delta_{но}$ — датчик начала отсчета, преобразующий положение коленчатого вала $\alpha_{ВМТ}$, соответствующее положению поршня в маркерном цилиндре в верхней мертвой точке, в синхронизирующий сигнал (синхроимпульс);
- $\Delta_{уп}$ — датчик углового положения коленчатого вала, преобразующий угловое положение коленчатого вала $\alpha_{уп}$ в соответствующие импульсы напряжения;
- Δ_p — датчик разрежения (нагрузки), преобразующий разрежение за дроссельной заслонкой ΔP_p в перемещение упругой диафрагмы;
- $\Phi_{но}$ — формирователь импульсов начала отсчета, преобразующий сигналы с датчика $\Delta_{но}$ в прямоугольные импульсы;
- $\Phi_{уп}$ — формирователь импульсов углового положения, преобразующий сигналы с датчика $\Delta_{уп}$ в прямоугольные импульсы;
- ИнП — информационный преобразователь, преобразующий перемещение диафрагмы Δ_p в напряжение постоянного тока, пропорциональное разрежению;
- ЧКП — частотно-кодовый преобразователь, преобразующий импульсы углового положения коленчатого вала в код, соответствующий частоте вращения коленчатого вала;
- АКП — аналогово-кодовый преобразователь, преобразующий напряжение с выхода ИнП в код;
- $\Phi_{ФИ}$ — формирователь фазы импульса зажигания, основу которого составляет устройство обработки информации УОИ, включающее:
 - $\Phi_{НФ}$ — формирователь начальной фазы;
 - АЛУ — арифметико-логическое устройство;
 - УУ — устройство управления;
- КАП — кодово-аналоговый преобразователь, в состав которого входит ПКВ — преобразователь «код — время», преобразующий код, полученный

в УОИ, во временной интервал, соответствующий фазе импульса зажигания (углу зажигания).

АКП и КАП часто относят к устройствам согласования выходных сигналов с датчиками и входных сигналов исполнительных устройств. Так как датчики и исполнительные устройства в большинстве случаев конструктивно входят в объект управления, они получили название «устройства согласования с объектом» (УСО).

В современных микропроцессорных системах условия согласования устанавливаются специальными протоколами и стандартами. Свод этих правил называется интерфейсом — как и устройство, предназначенное для выполнения условий согласования.

Основными элементами системы являются датчики $D_{\text{но}}$ и $D_{\text{уп}}$, через которые замыкается канал обратной связи. На основании полученной информации с датчиков УОИ вычисляет код, соответствующий фазе импульса зажигания (углу зажигания). В ПКВ он преобразуется во временной интервал и подается на формирователь амплитуды импульса зажигания.

СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ С ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫМИ СИГНАЛАМИ

Разработка систем управления с использованием частотно-временных сигналов началась в 1960-х гг., они успешно применялись в авиационной и ракетно-космической отраслях. Первые системы зажигания с использованием частотно-временных сигналов на дискретно-логических элементах появились за рубежом в 1970-х гг. В них использовались частотно-импульсные сигналы и унитарные коды, а в качестве УОИ — двоичные счетчики импульсов и соответственно алгоритмы счета единичными приращениями. В отечественном автомобилестроении этот этап развития схемотехники автомобильной электроники полностью отсутствует. Только радиолюбительские конструкции применялись в качестве заменяющих элементов при ремонте и модернизации старых систем.

Преимущества рассматриваемых систем зажигания перед традиционными на основе аналоговых элементов были значительными. Это обусловило бурное развитие систем на основе логических элементов с использованием частотно-временных сигналов, которые в дальнейшем переросли в микропроцессорные системы.

Конструктивно система состоит из ряда узлов, основными из которых являются:

- $D_{\text{но}}$ и $D_{\text{уп}}$;
- блок управления, в который входят устройства согласования, в том числе и ФПЧК, АКП, ПКВ, и двухпараметрический формирователь фазы импульса зажигания на двоичном счетчике ($\Phi\Phi_{\text{из}}$);
- формирователь постоянной скважности ФПС;
- транзисторный коммутатор, в который входит УМ с ограничителем тока;
- высоковольтный импульсный трансформатор, выполняющий функции накопителя энергии $H(L)$;
- механический высоковольтный распределитель импульсов;
- свечи зажигания ($FV1-4$).

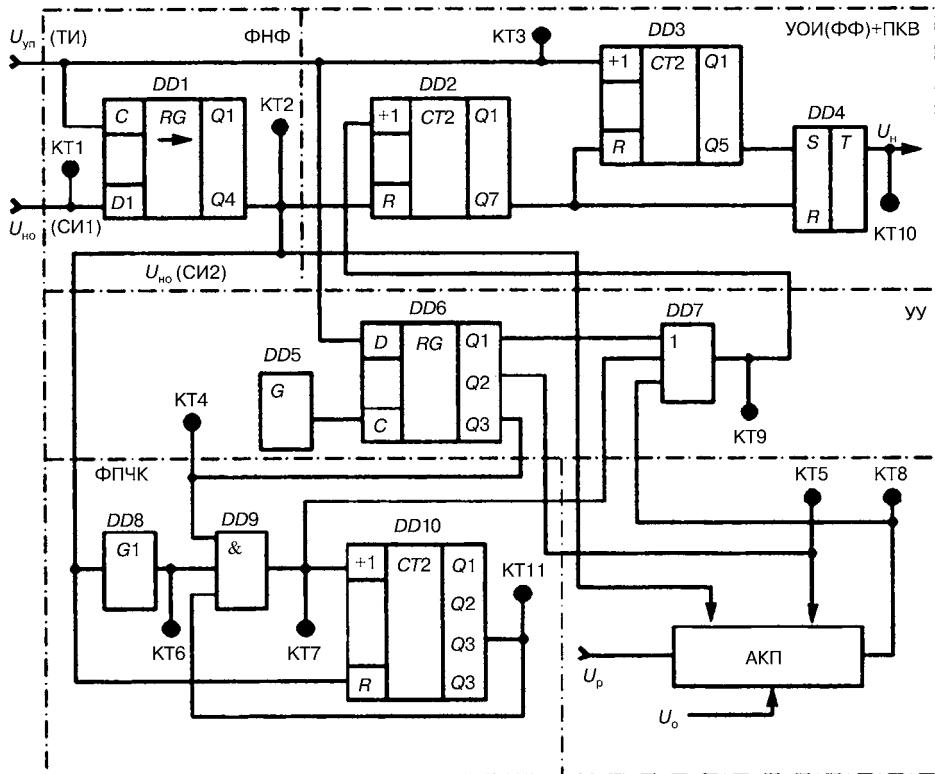


Рис. 4.75
Схема формирователя фазы импульса зажигания, ФПЧК и АКП
с частотно-временными сигналами

При формировании фазы импульса зажигания учитываются два параметра: частота вращения вала и разрежение.

Принципиальная электрическая схема формирователя фазы импульса зажигания ФФ, ФПЧК и АКП с использованием частотно-временных сигналов показана на рис. 4.75.

Он включает формирователь начальной фазы, собранный на сдвигающем регистре $DD1$, УОИ, собранное на счетчиках $DD2$, $DD3$ и триггере $DD4$, УУ, представляющее собой распределитель импульсов на сдвигающем регистре $DD6$ и включающее генератор G $DD5$ и схему «ИЛИ» $DD7$. Для измерения частоты вращения вала двигателя используется функциональный преобразователь частот, включающий генератор эталонного интервала времени $DD8$, схему «И» $DD9$ и счетчик $DD10$. Для преобразования сигнала, снимаемого с датчика разрежения, в код используется аналогово-кодовый преобразователь.

D_{ho} и D_{up} представляют собой зубчатый диск, установленный на маховике, и обмотки с магнитами. Зубчатый диск и магнит образуют магнитопровод индукционного преобразователя. Зубчатый диск имеет 128 зубьев и магнитную вставку в торце. При прохождении под обмоткой D_{ho} магнитной вставки в обмотке индуцируется импульс напряжения, совпадающий по времени

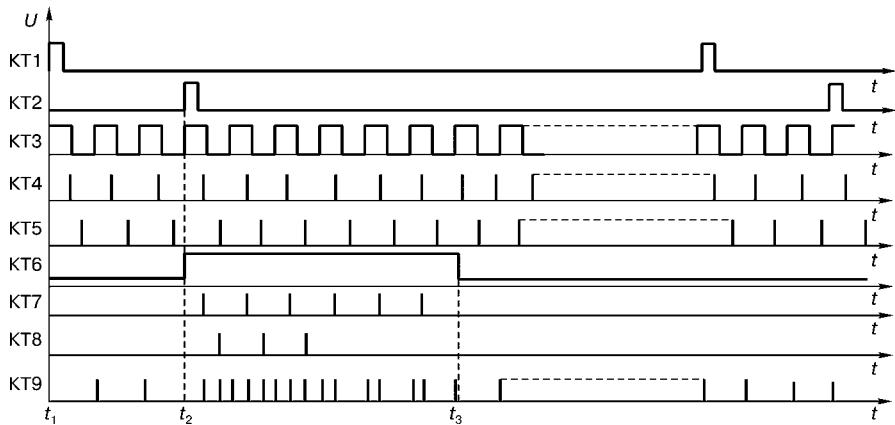


Рис. 4.76
Диаграммы работы формирователя фазы

с нахождением поршня маркерного цилиндра в ВМТ. В обмотке $\Delta_{\text{уп}}$, установленной над зубьями диска, за один поворот вала вырабатывается 128 импульсов. Цепь преобразования сигнала имеет много стадий. Так, угловое перемещение вала приводит к изменению зазора в магнитопроводе, что вызывает изменение магнитного потока, проходящего через обмотку датчика. Последнее приводит к индуцированию напряжения в обмотке, близкого по форме к синусоидальному.

Δ_p преобразует разрежение за заслонкой ΔP_p в деформацию ΔG (перемещение) упругой мембранны. С помощью ИНП эта деформация преобразуется в напряжение постоянного тока U_p , при этом обеспечивается функция преобразования $U_p = k\Delta P_p$.

Работа формирователя фазы импульса зажигания поясняется с помощью диаграмм сигналов в контрольных точках, представленных на рис. 4.76.

В момент времени t_1 на выходе $\Phi_{\text{ин}}(\text{КТ}1)$ формируется короткий импульс начала отсчета $U_{\text{но}}(\text{СИ}1)$. Он поступает на ФНФ и записывает единицу в первый разряд $DD1$. С помощью ФНФ импульс начала отсчета задерживается и формируется вспомогательный синхронизирующий импульс (СИ2), необходимый для формирования отрицательных углов зажигания. На вход C регистра начинают поступать тактовые импульсы. Через заданное время, определяемое числом поступивших на регистр тактовых импульсов, на выходе старшего разряда появится импульс СИ (КТ2), который формируется в момент времени t_2 и запаздывает относительно импульса начала отсчета на время, определяемое выражением

$$\Delta t = (N_1^i)_{DD1} T_t,$$

где $(N_1^i)_{DD1}$ — число тактовых импульсов, поступивших на $DD1$ (в рассматриваемом случае $i = 4$); T_t — период следования тактовых импульсов (КТ).

Формирователь импульсов углового положения $\Phi_{\text{уп}}$ (КТ) за один поворот коленчатого вала формирует 256 тактовых импульсов $U_{\text{уп}}$ из сигнала датчика углового положения. С помощью распределителя импульсов ($DD5, DD6$)

формируются три вспомогательные последовательности тактовых импульсов, сдвинутых по фазе относительно друг друга (КТ4; КТ5) на период следования импульсов с генератора *DD5*. Такая «растактовка» необходима для выполнения вычислений суммы чисел, представленных унитарными кодами. Первая последовательность импульсов совпадает с тактовыми импульсами (КТ). Импульсом СИ2 устанавливается нулевое значение кода в счетчике *DD2* и запускается частотно-кодовый фазовый преобразователь (ЧКФП) и АКП.

ЧКФП состоит из ждущего одновибратора *G1 DD8*, схемы И *DD9* и счетчика *DD10*. Одновибратор формирует эталонный импульс длительностью t_0 (КТ6). За время t_0 через схему «И» *DD9* проходит $(N_1^i)_q = t_0 / T_t$ импульсов (КТ7), которые представляют собой значение частоты вращения вала в единичном коде (рис. 4.77 a).

Импульсы с *DD9* поступают на схему *DD7* и одновременно на счетчик *DD10*, который ограничивает прохождение импульсов через схему *DD9* (КТ11) на уровне N_2^k (рис. 4.77 b). В рассматриваемом случае $k = 8$. Функция преобразования ФПЧК представлена на рис. 4.77 c . АКП на своем выходе (КТ8) вырабатывает серию импульсов, представляющих единичный код в соответствии с выражением $(N_1^r)_p = k(U_p / U_0)$, число которых пропорционально разрежению во впускном коллекторе. На рис. 4.76 видно, что импульсы идут сериями по три, по два и по одному.

Счетчик УОИ (ФФ) *DD2* имеет емкость 2^7 и через 128 импульсов (единичных приращений), поступивших на его вход, переполняется. За время t_0 на *DD2* поступит $(N_1^n)_q$ импульсов — значение частоты вращения вала. Одновременно на счетчик поступает единичный код разрежения (нагрузки) $(N_1^r)_p$. Поэтому счетчик переполнится раньше. За один оборот коленчатого вала вырабатываются 256 импульсов и *DD2* успевает переполниться дважды. Если АКП выдает $(N_1^n)_p$ импульсов (рис. 4.77), а ЧКФП — $(N_1^i)_q$, то через схему *DD7* до переполнения проходит $(N_1^i)_q + (N_1^r)_p + (N_1^i)_{\text{доп}} = 128$ импульсов. Код $(N_1^i)_q + (N_1^r)_p = (N_1^n)_{\text{o3}}$ определяет фазу импульса зажигания. Именно на это число периодов тактовых импульсов ускоряется переполнение *DD2*.

Переполнение счетчика происходит за $(N_1^n)_{\text{o3}} = 1 - (N_1^i)_{\text{доп}}$ тактовых импульсов с датчика углового положения вала до прихода поршня в ВМТ цилиндра, в котором закончился цикл сжатия. При этом формируется временной интервал $\Delta t_{\text{o3}} = (N_1^n)_{\text{o3}} T_t$, который определяет расчетный угол опережения зажигания $(\alpha_{\text{o3}})_{\text{рас}} = \Delta\alpha(N_1^n)_{\text{o3}}$, где $\Delta\alpha$ — шаг квантования угла поворота вала. В следующую половину оборота на счетчик не поступают дополнительные импульсы от преобразователей параметров, и он переполнится через

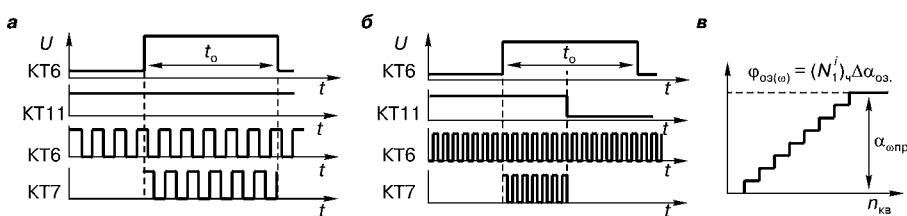


Рис. 4.77
Диаграммы, поясняющие принцип работы ФПЧК

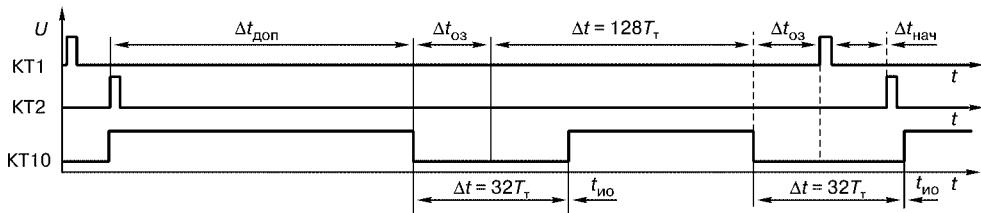


Рис. 4.78
Диаграммы, поясняющие формирование фазы импульса зажигания
(момента искрообразования)

128 тактовых импульсов. В момент переполнения $DD4$ сигналом с $DD2$ сбрасывается в логический «0» и через 32 импульса сигналом с $DD3$ устанавливается в логическую «1». Таким образом формируется импульс накопления с постоянной скважностью (рис. 4.78).

Окончательная фаза импульса зажигания определяется как разность $\varphi_{о3} = (\varphi_{о3})_{рас} - \varphi_{нач}$. Момент искрообразования на рис. 4.78 отмечен временем $t_{ио}$. Принцип действия остальных функциональных узлов рассматриваемой системы зажигания рассмотрен ранее и существенных отличий не имеет.

СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Такие системы строятся на двоичных логических элементах с аппаратным способом управления. Для обработки информации, поступающей с датчиков, в них используются цифровые устройства обработки информации.

Схема соединений блоков и узлов ЦСЗ представлена на рис. 4.79.

Конструктивно система состоит из ряда узлов. Основные из них: $D_{но}$ и $D_{уп}$, блок управления (73.3761), в который входят устройства согласования, в том числе и преобразователи ЧКП, АКП_р сигнала датчика разрежения, АКП_т сигнала датчика температуры, ПКВ с постоянной скважностью импульса датчика, трехпараметрический $\Phi\Phi_{из}$, работающий по методу считываия, низковольтный распределитель первой ступени; электронный коммутатор (42.3734) с двумя групповыми каналами передачи информации, в нее входят $\Phi D_{ин}$, $\Phi_{пл}$ и УМ, ВИТ (29.3705), выполняющие функции накопителя энергии $H(Z)$, трансформатора и высоковольтного распределителя второй ступени, и свечи зажигания ($FV1-4$).

При формировании фазы импульса зажигания учитываются три параметра: частота вращения вала, разрежение и температура охлаждающей жидкости. Сигналы перечисленных параметров поступают в БУ с соответствующими датчиками $D_{уп}$, D_p и $D_{тож}$ (датчика температуры охлаждающей жидкости).

Конструктивно система зажигания объединена с САУ ЭПХХ. Она включает двухпозиционный датчик положения дроссельной заслонки $D_{ппз}$, устройство управления и обработки информации, размещенное в БУ, и электромагнитный клапан, состоящий из электромагнита Y , выполняющего функции исполнительного механизма, и клапана B — регулирующего органа.

Функциональная схема блока управления приведена на рис. 4.80.

В ФФ_{из} вычисляется зависимость $\phi_{03} = \phi_{03n}(n_{\text{кв}}, \Delta P_p) + \Delta\phi(T_{\text{окл}}, n_{\text{кв}})$. Функция двух переменных ϕ_{03n} табулируется и в виде таблицы хранится в постоянном запоминающем устройстве ПЗУ1. Для нахождения значения ϕ_{03n} используется метод считывания. Им определяется функция $\Delta\phi_{03}$, значения которой хранятся в ПЗУ2. Общая сумма находится с помощью сумматора путем суммирования полных значений аргументов, представленных двоичными кодами.

В рассматриваемой системе зажигания используется двухступенчатое распределение каналов. На первой низковольтной ступени распределения каналы разделяются на две группы 1, 4 и 2, 3. Элементы распределителя размещены в БУ и в коммутаторе (инвертор выбора канала). Из БУ на коммутатор поступают сигналы «Выбор канала» (ВК) и «Импульс датчика» (ИД).

В БУ формируется импульс датчика постоянной скважности $t = 3/2$, переходы которого от высокого уровня к низкому определяют момент искрообразования. Этот сигнал также поступает в коммутатор.

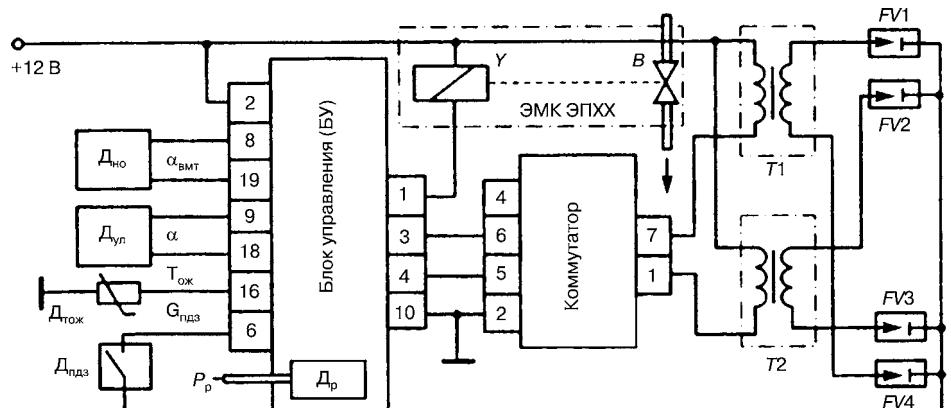


Рис. 4.79
Блок-схема цифровой системы зажигания

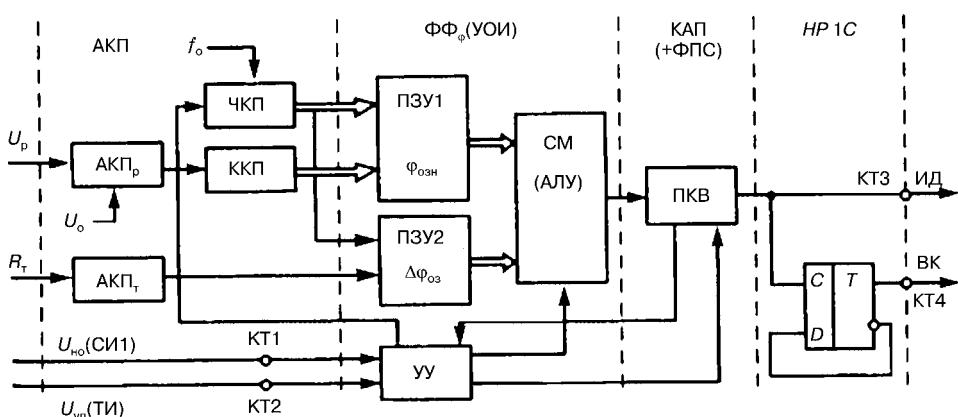


Рис. 4.80
Схема блока управления цифровой системой зажигания

Сигналы с датчиков после формирователей формы сигналов (согласующих устройств) поступают на преобразователи «параметр — код».

В ЧКП определяется код частоты вращения вала. Для этого измеряется период следования импульсов с датчика углового положения вала. Код периода представляется двоичным пятиразрядным числом в соответствии с выражением

$$(N_2^5)_q = f_0 T_t,$$

где f_0 — эталонная частота; $T_t = 60/(z_m n_{KB})$ — период следования импульсов с датчика углового положения.

Преобразованный в напряжение сигнал с датчика разрежения измеряется с помощью шестиразрядного АКП и представляется кодом $(N_2^6)_q$. Затем с помощью преобразователя кодов он преобразуется в код $(N_2^4)_q$.

Сигнал с датчика температуры преобразуется в АКП_t в одноразрядный двоичный код $(N_2^1)_t$, при этом $(N_2^1)_t = 1$ при $T_{oxl} > 50^\circ\text{C}$ (323 K) и $(N_2^1)_t = 0$ при $T_{oxl} < 50^\circ\text{C}$ (323 K). Формирователь фазы импульса зажигания (рис. 4.81) на основании полученных кодов частоты вращения и разрежения с учетом температуры охлаждающей жидкости формирует фазу импульса зажигания.

Принцип его работы рассмотрен на рис. 4.82.

Функция, определяющая зависимость величины угла опережения зажигания ϕ_{ozn} от частоты вращения коленчатого вала и давления во впускном коллекторе двигателя, хранится в ППЗУ $DD4$ в виде двухмерного информационного массива размером 16×32 (512 однобайтных ячеек памяти). Доступ к каждой конкретной ячейке осуществляется посредством подачи на адресные входы $A0-A4$ ППЗУ $DD4$ кода адреса столбца массива $(N_2^5)_q$, представляющего собой пятиразрядный двоичный код частоты вращения, а на адресные входы $A5-A8$ — кода адреса строки массива $(N_2^4)_p$, который является преобразованным четырехразрядным двоичным кодом разрежения. На пересечении указанных выше столбца и строки в массиве памяти находится искомая ячейка с кодом ϕ_{ozn} , соответствующим данному режиму работы двигателя.

Для преобразования полученного в АКП_p шестиразрядного кода разрежения в требуемый для ППЗУ $DD3$ четырехразрядный код весь диапазон давлений (от 0 до 84 кПа) разбивается на 16 участков (зон), каждый из которых вносит приблизительно равные весовые части $\Delta\phi_p$ в корректировку угла опережения зажигания. Данное преобразование осуществляется с помощью ППЗУ $DD3$, на адресные входы $A0-A5$ которого через согласующий усилитель $DD2$ подается сформированный АКП_p шестиразрядный код разрежения. В результате на выходах $Q5-Q8$ ППЗУ $DD3$ появляется четырехразрядный код $(N_2^4)_p$, соответствующий номеру зоны, включающей данную величину разрежения.

Вместе с этим в ППЗУ $DD3$ заложена характеристика корректировки фазы ϕ_{oz} в зависимости от температуры охлаждающей жидкости двигателя, для чего на его адресный вход $A8$ с выхода АКП_t поступает одноразрядный код. Требуемая величина корректировки ϕ_{oz} по температуре $\Delta\phi_t$ имеет сложную зависимость и определяется помимо температуры двигателя его нагрузкой и частотой вращения вала. Поэтому на адресные входы ППЗУ $DD3$ кроме ин-

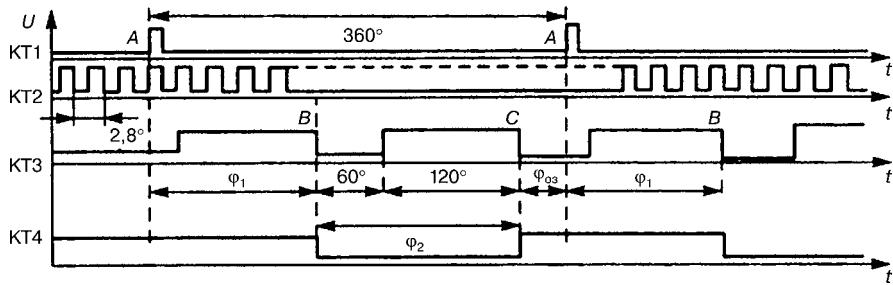


Рис. 4.81
Принципиальная схема формирования фазы импульса зажигания

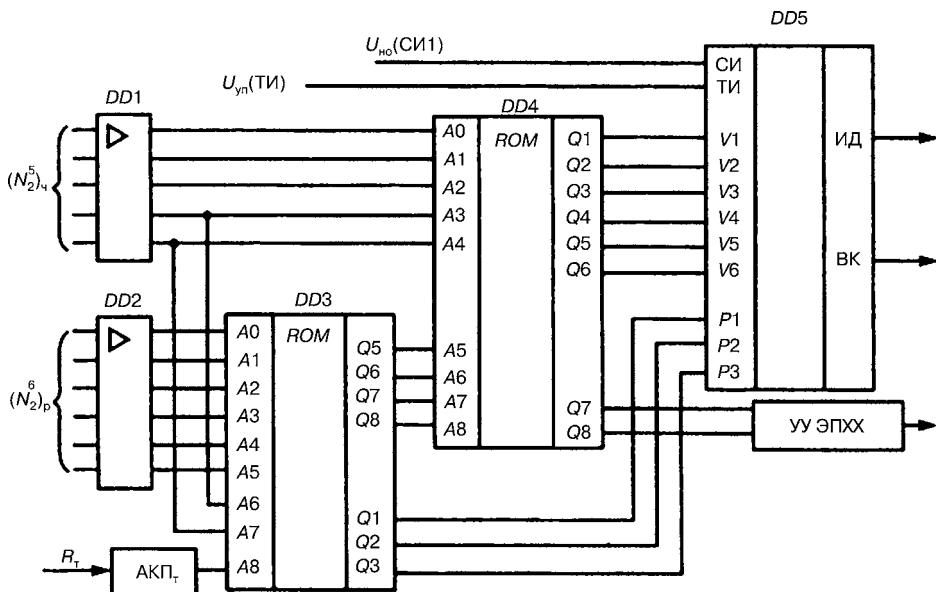


Рис. 4.82
Диаграммы, поясняющие принцип формирования фазы импульса зажигания:
А — ВМТ поршней и четвертого цилиндра; В — момент зажигания в первом и четвертом цилиндрах; С — момент зажигания во втором и третьем цилиндрах.

формации о величине разрежения (A_0 — A_5) и температуре (A_8) поступает информация о текущем диапазоне частоты вращения коленчатого вала двигателя. Для чего входы A_6 , A_7 ППЗУ DD_3 через согласующий усилитель DD_1 связаны с выходами старших разрядов ЧКП, различным состояниям которых соответствуют разные диапазоны частот вращения («11» — менее 600 мин^{-1} , «01» — от 600 до 1000 мин^{-1} , «10» — от 1000 до 2000 мин^{-1} , «00» — более 2000 мин^{-1}). В результате в зависимости от полного адреса на входах A_0 — A_8 , на выходах Q_1 — Q_3 ППЗУ DD_3 появляется трехразрядный двоичный код $(N_2^3)_p$, несущий информацию о требуемой температурной корректировке $\Delta\varphi_t$ для данного режима работы двигателя. Корректирование момента искрообразования по температуре осуществляется только для холодного двигателя ($T_{\text{окл}} < 323 \text{ K}$) при частоте вращения коленвала $n_{\text{кв}} > 600 \text{ мин}^{-1}$.

Поэтому при наличии логической единицы на $A8$ или при комбинации «11» на $A6, A7$ ППЗУ $DD3$ на $Q1-Q3$ будет поддерживаться код «000», что соответствует нулевой температурной корректировке $\Delta\varphi_t$.

Как уже отмечалось, в зависимости от кода частоты вращения и кода зоны нагружочного режима двигателя на выходах $Q1-Q6$ ППЗУ $DD4$ появляется шестиразрядный код, представляющий собой двоичное число $(N_2^6)_{\Phi_{03}}$, соответствующее углу поворота коленчатого вала

$$\Delta\alpha_1 = (N_2^6)_{\Phi_{03}} \Delta\alpha,$$

где $\Delta\alpha$ — шаг квантования угла поворота вала (рис. 4.83). При $z_m = 128$ и формировании $\Phi_{\text{иуп}} 256$ импульсов $\Delta\alpha = 360^\circ / 256 \approx 1,4^\circ$.

Полученный угол $\Delta\alpha_1$ является дополнением угла опережения зажигания α_{03} до 90° при отсутствии температурной корректировки:

$$\text{при } \Delta\alpha_t = 0 \quad \Delta\alpha_1 = 90^\circ - \alpha_{03} \text{ или } \Delta\varphi_1 = 90^\circ - \varphi_{03};$$

$$\text{при } \Delta\alpha_t \neq 0 \quad \Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_t = 90^\circ - \alpha_{03} \text{ или } \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_t = 90^\circ - \varphi_{03}.$$

Код угла $\Delta\alpha_1$ (фазы $\Delta\varphi_1$) с $Q1-Q6$ ППЗУ $DD4$ подается на входы $V1-V6$ сумматора цифровой интегральной схемы (ЦИС) $DD5$, одновременно на ее входы $P1-P3$ подается код температурной коррекции $\Delta\varphi_t$, выраженный также в угловых единицах. В сумматоре ЦИС $DD5$ вычисляется сумма кодов ($\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_t$), которая при появлении импульса СИ1 (рис. 4.83) заносится в шесть младших разрядов семиразрядного устройства сравнения, содержащегося в ЦИС $DD5$. В старший (седьмой) разряд данного устройства при этом заносится логическая единица, что соответствует двоичному числу 64 (90°). Таким образом, полное семиразрядное двоичное число, записанное в устройство сравнения, представляет собой угол α_1 , являющийся дополнением угла опережения зажигания α_{03} до 180° (рис. 4.83):

$$\alpha_1 = 90^\circ + \Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_t = 180^\circ + \alpha_{03} \text{ или } \varphi_1 = 90^\circ + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_t = 180^\circ + \varphi_{03}.$$

По окончании действия импульса СИ1 прохождение информации с $V1-V6, P1-P3$ ЦИС $DD5$ на встроенное устройство сравнения блокируется и семиразрядный счетчик, также входящий в состав ЦИС $DD5$, начинает преобразование кода во временной интервал. При совпадении кода в сумматоре с тем, что сформирован счетчиком, происходит спад импульса датчика ИД на выходе $DD5$, что соответствует моменту искрообразования B (см. рис. 4.81, 4.83). При этом счетчик, не останавливаясь, переходит к отслеживанию угла α_2 (рис. 4.83), продолжая считывать тактовые импульсы вплоть до заполнения всех семи разрядов (что соответствует числу 128 или 180° поворота коленчатого вала).

Повторное совпадение состояния счетчика с кодом, записанным в устройстве сравнения, будет соответствовать моменту искрообразования B (рис. 4.83). При этом счетчик, не останавливаясь, переходит к отслеживанию угла α_2 (рис. 4.83), продолжая считывать тактовые импульсы вплоть до заполнения всех семи разрядов (что соответствует числу 128 или 180° поворота коленчатого вала).

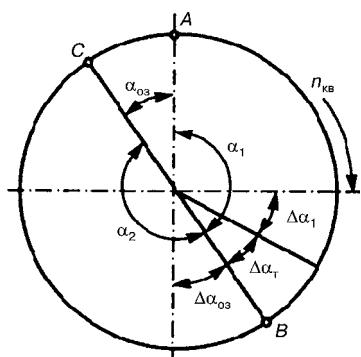


Рис. 4.83

Диаграмма, поясняющая принцип формирования угла опережения зажигания

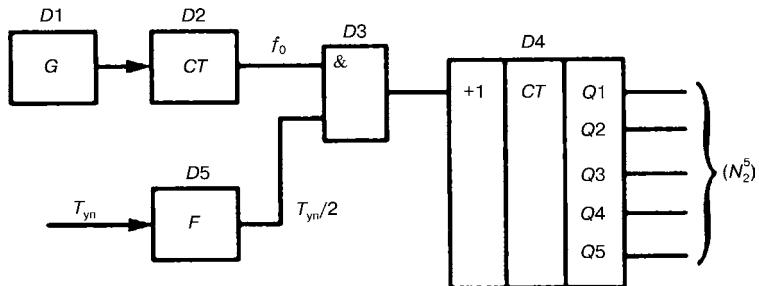


Рис. 4.84
Структурная схема преобразователя «период — код»

ния C (см. рис. 4.81, 4.83). Помимо отслеживания моментов зажигания B и C ЦИС $DD5$ обеспечивает необходимую для управления коммутатором скважность импульса датчика.

Поскольку БУ в составе системы работает с двухканальным электронным коммутатором, ЦИС $DD5$ формирует не только ИД, но и сигналы разделения (выбора) каналов (ВК), необходимые для правильного распределения подачи искры по парам цилиндров ДВС. При этом низкий уровень сигнала ВК соответствует искрообразованию в первом групповом канале зажигания (первый и четвертый цилиндры), а высокий — во втором групповом канале зажигания (второй и третий цилиндры). Смена уровней сигнала ВК происходит по спаду импульсов датчика.

Измерение частоты вращения коленчатого вала в рассматриваемой системе зажигания осуществляется с помощью преобразователя «период — код». В таком преобразователе (рис. 4.84) определяется величина, обратная частоте.

Период следования импульсов определяется путем сравнения его с периодом следования импульсов эталонного генератора. В качестве такового используется генератор с кварцевой стабилизацией $D1$ на 1 МГц. С помощью двоичного делителя $D2$ получается эталонная частота $f_0 = 1/T_0$. Формирователь F формирует измеряемый импульс длительностью, равной половине периода следования импульсов углового положения вала $T_i = T_{\text{иуп}}/2$. На схеме «И» $D3$ осуществляется заполнение импульса T_i импульсами эталонной частоты и преобразование временного интервала в единичный код. При измерении проводится операция деления в соответствии с выражением $(N_1^m)n_{\text{кв}} = (T_{\text{иуп}}/2)/T_0$. На пятиразрядном счетчике $D4$ единичный код преобразуется в двоичный, который используется в устройстве обработки информации.

4.5.6. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ С УСТРОЙСТВОМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ НА МИКРОПРОЦЕССОРЕН

В таких системах используются специализированные микропроцессоры, специально разработанные под конкретную задачу, что ограничивает сферу их применения.

Обработку информации, поступающей с датчиков, осуществляет микроЭВМ, основу которой составляет микропроцессор.

Схема соединения рассматриваемой системы практически совпадает со схемой ЦСЗ, за исключением блока управления, в качестве которого использовалась ЭБУ МС 2713-02, являющаяся микроЭВМ.

Блоки управления микропроцессорных систем зажигания (БУ МПСЗ) имеют несколько разновидностей, обусловленных их конкретным применением.

БУ МПСЗ типа МС2713.01 имеет разъем для соединения с внешними цепями, полностью совпадающий с соединительным разъемом БУ 73.3761, и поэтому данные блоков управления взаимозаменяемы. Однако алгоритм работы микропроцессорного БУ имеет свои отличительные особенности:

- БУ МПСЗ из-за наличия процессора представляет собой более гибкую программно-управляемую структуру по сравнению с БУ ЦСЗ и может быть путем перепрограммирования использован для многих типов ДВС без изменения его аппаратной части;
- БУ МПСЗ имеет в 2 раза больший объем памяти ($32 \times 32 = 1024$ байт) для записи функции опережения зажигания, что позволяет уменьшить шаг квантования при табуляции функции в зависимости от частоты вращения и нагрузки двигателя;
- в БУ МПСЗ осуществляется измерение частоты вращения коленчатого вала, а не периода следования импульсов с датчика углового положения, как в БУ ЦСЗ;
- для повышения точности расчета угла опережения зажигания ϕ_1 (см. рис. 4.82) в БУ МПСЗ используется метод линейной интерполяции, согласно которому при текущих значениях частоты вращения n_x и разрежения P_x , отличных от величин, заложенных в таблицу ППЗУ, опорные значения кодов углов $(\phi_{1x})_n$ и $(\phi_{1x})_p$ определяются по формулам

$$(\phi_{1x})_n = \phi_{1a} + \frac{\phi_{1b} - \phi_{1a}}{n_b - n_a} (n_x - n_a);$$

$$(\phi_{1x})_p = \phi_{1a} + \frac{\phi_{1b} - \phi_{1a}}{P_b - P_a} (P_x - P_a),$$

где ϕ_a , ϕ_b — величины угла ϕ_1 , соответствующие значениям n_a и n_b (или P_a и P_b); n_a , n_b — соответственно меньшее и большее табличные значения частоты вращения, ближайшие к коду текущей частоты вращения n_x ; P_a , P_b — соответственно меньшее и большее табличные значения разрежения, ближайшие к текущему коду разрежения P_x ;

- алгоритм работы БУ МПСЗ выбран таким образом, что отслеживание угла опережения зажигания производится на каждом обороте коленчатого вала, а изменение его значения — после очередного определения режима работы ДВС и вычисления соответствующего УОЗ, что занимает от одного до нескольких оборотов коленчатого вала, в зависимости от частоты его вращения;
- БУ МПСЗ осуществляет отслеживание специальной пусковой характеристики зажигания в режиме холостого хода двигателя, т. е. при полностью закрытой дроссельной заслонке и замкнутых контактах датчика положения дроссельной заслонки. В этом случае величина УОЗ опреде-

ляется только частотой вращения и температурой двигателя, независимо от его нагрузки.

В остальном принцип действия БУ МПСЗ сходен с принципом действия рассмотренного БУ ЦСЗ. Диаграммы напряжений и токов в обмотках трансформаторов микропроцессорной системы зажигания показаны на рис. 4.85.

По сигналу с БУ коммутатор производит:

- поочередное включение групповых каналов и, следовательно, трансформаторов зажигания;
- формирование импульса накопления постоянной длительности t_n ;
- формирование импульса тока заданной амплитуды I_{1m} и энергии.

Амплитуда импульса тока I_{1m} равна 8–10 А, а t_n при изменении частоты вращения вала от 750 до 4500 мин⁻¹ и напряжении питания 14 В определяется в пределах 4–9 мс. При этом в момент отключения тока в первичной обмотке, что соответствует моменту искрообразования t_{io} , напряжение на первичной обмотке U_1 может составлять 350–400 В. Момент искрообразования соответствует фазе ϕ_{03} импульса зажигания, величина которого в момент пробоя равна U_n .

На диаграммах соответственно указаны ток I_p , напряжение U_p и длительность разряда t_p запасенной в трансформаторе энергии.

Развитие микропроцессорной техники позволило использовать в системе управления ДВС единый микропроцессорный контроллер, куда встраиваются функции системы зажигания. Дальнейшее развитие систем управления привело к использованию универсальных микропроцессоров, которые

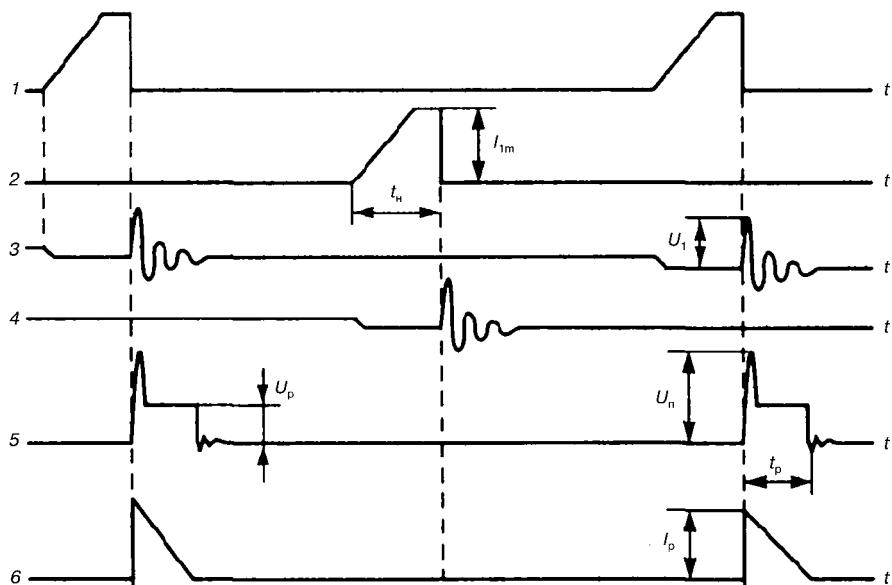


Рис. 4.85
Диаграммы работы микропроцессорной системы зажигания:

1 — импульсы тока в первичной обмотке первого трансформатора; 2 — импульсы тока в первичной обмотке второго трансформатора; 3 — импульсы напряжения в первичной обмотке первого трансформатора; 4 — импульсы напряжения в первичной обмотке второго трансформатора; 5 — импульсы напряжения во вторичной обмотке; 6 — импульс тока во вторичной обмотке.

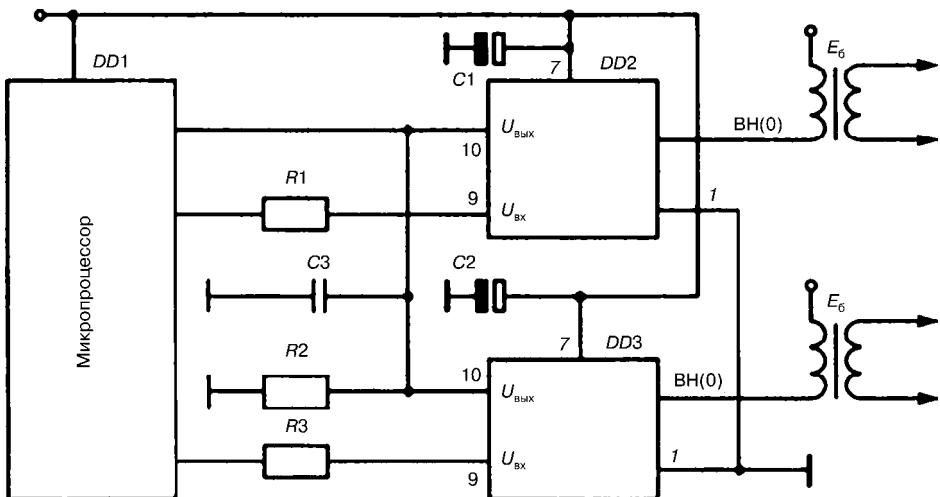


Рис. 4.86
Типовая схема соединения высоковольтного ключа VB027ASP
в системе зажигания с двухканальным коммутатором

строются в соответствии с параметрическими рядами по производительности. На таких процессорах можно создать многоуровневую систему управления в виде управляемой сети.

Примером системы зажигания, объединенной с системой топливоподачи (впрыска), является система на базе микроЭВМ «Январь-4». Совершенствование системы идет за счет реализации многих функций элементов системы зажигания программным путем (создание виртуальных функциональных устройств). Здесь на микропроцессор возложены все функции, кроме ограничения тока первичной обмотки. Конструктивно система зажигания делится на два узла: БУ и модуль зажигания.

Степень интеграции современных систем настолько велика, что электронная часть системы зажигания может включать только микроЭВМ и усилитель мощности, и микроЭВМ переданы все функции системы зажигания. В этом случае основная задача разработчика системы зажигания заключается в создании алгоритма функционирования, по которому будет разработана программа управления для микроЭВМ.

Типовая схема соединения высоковольтного ключа VB027ASP (усилителя мощности) и микроЭВМ, рекомендуемая фирмой-разработчиком элементов, приведена на рис. 4.86.

Схема разработана для системы с двухступенчатым распределением каналов. Сигналы управления поступают в микроЭВМ на каждую микросхему VB027ASP. Информационные (диагностические) выходы с высоковольтного ключа подключаются на вход микроЭВМ. По этим линиям передается информация об амплитуде тока в первичной обмотке. Для оптимального управления амплитудой тока на всех режимах работы ДВС (особенно в динамическом режиме) необходимо разработать алгоритм управления током с учетом многих параметров и их измерений (производных) во времени.

СИСТЕМЫ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

Современные системы зажигания строятся как системы непосредственного зажигания — так называемые DIS (Direct Ignition System).

Конструктивно система состоит из микроконтроллера и четырех высоковольтных ключей типа BTS21165 с датчиками тока, а также четырех трансформаторов зажигания, интегрированных в контактный наконечник свечей FV1–FV4.

Структурная схема системы управления с непосредственным зажиганием приведена на рис. 4.87.

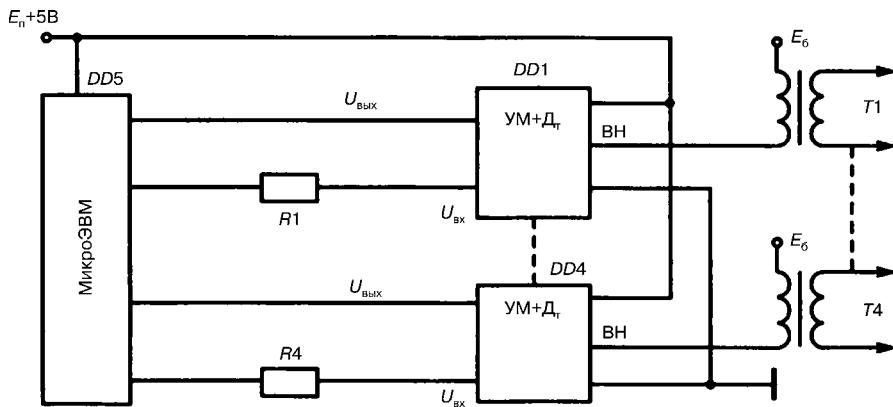


Рис. 4.87
Структурная схема системы управления с непосредственным зажиганием

Такое решение позволяет повысить качество систем зажигания, а также создать программы индивидуального управления искрообразованием в каждом цилиндре, что особенно важно для двигателей с V-образным их расположением.

МикроЭВМ может обрабатывать информацию с датчика не только для участка накопления энергии и формирования первичного тока, но и после разряда, отслеживая процесс сгорания по ионным токам в цилиндре. Это позволяет заранее прогнозировать наступление детонации и предупреждать ее путем коррекции угла опережения зажигания.

СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ С ЕМКОСТНЫМИ НАКОПИТЕЛЯМИ

Электрическая энергия для искрообразования в системах зажигания с емкостными накопителями накапливается в электрическом поле конденсатора. Энергия заряженного конденсатора:

$$W = CU^2/2,$$

где C — емкость конденсатора; U — напряжение на его обкладках.

Чтобы обеспечить требуемую энергию импульса зажигания при разумных размерах емкости конденсатора, необходимо увеличивать напряжение

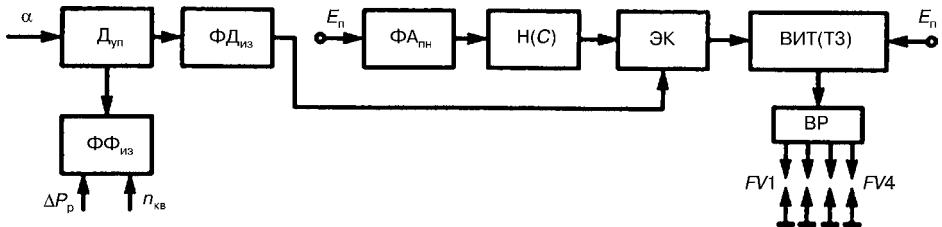


Рис. 4.88
Система зажигания с емкостным накопителем

заряда. Для этого используются преобразователи низкого напряжения бортовой сети в высокое напряжение. Сначала с помощью генератора получают переменное напряжение — как правило, импульсное. Затем оно преобразуется с помощью высоковольтного импульсного трансформатора в высокое. В качестве генераторов используются мультивибраторы или блокинг-генераторы. Накопление энергии в конденсаторе может производиться от импульсного источника или источника постоянного тока. После заряда конденсатора, осуществляющегося в интервалах между импульсами зажигания, он через электронный ключ подключается к первичной обмотке трансформатора зажигания. Напряжение на первичной обмотке выбирают в пределах 300–400 В. Раньше в качестве коммутационного ключа использовались тиристоры. В настоящее время их вытесняют высоковольтные транзисторные ключи на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT-транзисторы). Так как скорость нарастания напряжения во вторичной обмотке трансформатора зажигания зависит от напряжения в первичной обмотке, высокое напряжение нарастает достаточно быстро. Импульс зажигания имеет меньшую длительность, чем в системах с накоплением индуктивности. Поэтому указанные системы применяются для высокооборотных двигателей.

Трансформатор зажигания используется только по прямому назначению (в нем не накапливается энергия в реактивном элементе), поэтому сопротивление и индуктивность первичной обмотки могут быть небольшими, что уменьшает постоянную времени, а значит, повышает быстродействие системы. Уменьшение индуктивности обмотки позволяет уменьшить и размеры трансформатора зажигания. Большой градиент нарастания вторичного напряжения делает систему зажигания мало зависимой от шунтирующих воздействий в высоковольтных цепях. Структурная схема системы зажигания с емкостным накопителем представлена на рис. 4.88.

Сигнал с D_{up} поступает на $\Phi\Phi_{iz}$, по его спаду $\Phi\Phi_{iz}$ формирует импульс, длительность которого определяет время разряда конденсатора, а следовательно, и импульса зажигания. Напряжение на первичной обмотке формируется формирователем амплитуды первичного напряжения (ΦA_{nh}), который подключен к емкостному накопителю (C). Через электронный ключ, открываемый формирователем длительности импульса зажигания (ΦD_{iz}), конденсатор подключается к первичной обмотке ВИТ. Вторичная обмотка подключается к ВР, который распределяет импульсы зажигания по свечам $FV1-FVn$ цилиндров.

Схемы систем зажигания с емкостным накопителем

Рассмотрим схему некоторых элементов емкостной системы зажигания (рис. 4.89).

$\Phi\Delta_{\text{пп}}$ системы зажигания включает двухтактный генератор на транзисторах $VT1$ и $VT2$, импульсный трансформатор $T2$ и выпрямитель B . В качестве электронного ключа применяется тиристор VS , накопительный конденсатор C и трансформатор зажигания $T1$. Формирователь фазы первичного напряжения преобразует низкое напряжение бортовой сети в высокое, которое через первичную обмотку $T2$ подается на C . При заряде конденсатора тиристор находится в состоянии отсечки. При поступлении на управляющий электрод тиристора сигнала с $\Phi\Delta_{\text{из}}$ тиристор переключается в состояние насыщения и конденсатор разряжается через обмотку трансформатора зажигания на землю. Если считать, что вся энергия, запасенная в первичном контуре, трансформируется во вторичный, можно записать

$$0,5C_1U_{1m}^2 = 0,5C_2U_{2m}^2,$$

откуда

$$U_{2m} = k_{\text{tp}}U_{1m},$$

где k_{tp} — коэффициент трансформации.

Использование в качестве ключевых элементов IGBT-транзисторов с регулированием напряжения на первичной обмотке делает систему зажигания с емкостным накопителем не уступающей по всем параметрам системам с индуктивным накопителем. При этом емкостные системы превосходят все другие системы зажигания по экономичности.

В современных системах для устранения влияния возмущающих воздействий, главными из которых являются частота вращения вала и напряжение питания, применяют стабилизацию напряжения на первичной обмотке. Для этого используют систему автоматического регулирования напряжения по отклонению.

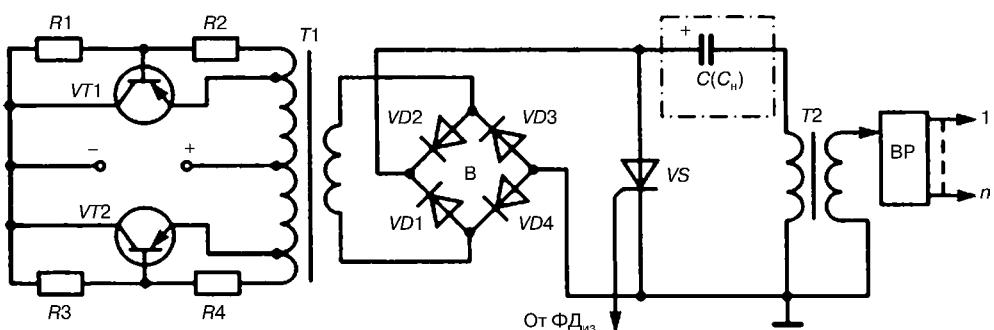


Рис. 4.89

Принципиальная схема некоторых элементов емкостной системы зажигания с непрерывным накоплением электрической энергии

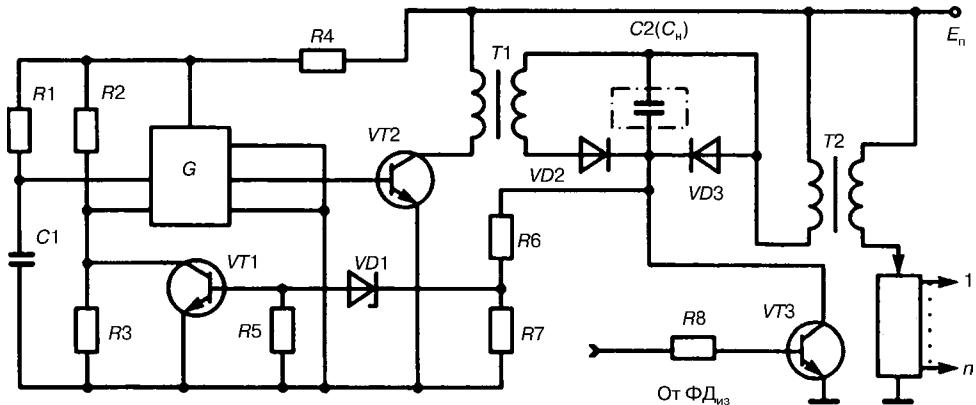


Рис. 4.90

Принципиальная схема формирователя амплитуды напряжения первичной цепи с использованием системы автоматического регулирования с импульсным накоплением электрической энергии

На рис. 4.90 приведена схема формирователя амплитуды напряжения первичной цепи с регулятором напряжения.

Формирователь первичного напряжения включает генератор G , выполненный по схеме мультивибратора на логических элементах. С выхода генератора импульсный сигнал поступает на усилитель, собранный на транзисторе $VT2$, нагрузкой которого является импульсный трансформатор $T1$. Напряжение со вторичной обмотки поступает на заряд накопительного конденсатора $C2$. В качестве электронного ключа используется транзистор $VT3$, управляемый по цепи базы импульсом от формирователя длительности импульса зажигания. Делитель напряжения на $R6$, $R7$ выполняет функции датчика. Снимаемый с него сигнал сравнивается с заданным значением напряжения, которое формируется стабилитроном $VD1$ и резистором $R5$. При достижении напряжением на $C2$ заданного значения стабилитрон срабатывает и через $VT1$ запирает генератор. Заряд конденсатора прекращается.

Использование высокочастотного мультивибратора и регулирование напряжения на первичной обмотке трансформатора зажигания делают величину запасаемой энергии не зависимой от напряжения питания и частоты вращения вала.

5

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

От организации топливоподачи зависят экономические, экологические и мощностные показатели автомобильных бензиновых двигателей. Эксплуатационные показатели ДВС определяются также процессами горения смеси в цилиндрах, а процесс горения, в свою очередь, зависит от ее состава, равномерного распределения по цилиндрам, степени испарения, интенсивности движения заряда, температуры, количества остаточных газов и ряда других факторов.

Назначение системы питания — обеспечить количество, состав и качество горючей смеси в цилиндрах. Она подает и регулирует состав горючей смеси так, чтобы происходило полное сгорание компонентов топлива и уменьшалась токсичность отработанных газов.

Можно выделить несколько операций, выполняемых системой питания:

- дозирование компонентов (формирование количества смеси);
- смесеобразование (формирование состава и качества смеси).

В свою очередь, процесс смесеобразования включает:

- распыление;
- испарение топлива и антидетонационных присадок.

Особенностью работы автомобильного двигателя является широкий диапазон резко изменившихся нагрузочных и скоростных режимов. Система питания должна обеспечить хорошее смесеобразование, оптимальный состав и качество смеси на всех режимах, а также при переходе с одного режима на другой в различных условиях эксплуатации. Кроме того, необходим надежный пуск двигателя, его прогрев с минимальным выбросом токсичных веществ и расходом топлива. Эксплуатационные показатели ДВС на каждом режиме

обеспечиваются оптимальным дозированием горючей смеси и фазовыми соотношениями в системе газораспределения и зажигания.

Различают установившиеся и переходные режимы работы ДВС. Основными режимами являются: пуск (холодный пуск), прогрев, холостой ход, принудительный холостой ход, частичные нагрузки, полные нагрузки.

При переходе с одного режима на другой в системе управления возникают переходные процессы.

Холодный пуск. Следует обогащать смесь из-за плохого смесеобразования, испарения и возможности образования пленки на стенках впускного коллектора. При обогащении смеси поступает больше легкоиспаряемых фракций, что облегчает пуск.

Прогрев двигателя. Необходимо обогащение смеси для устойчивой работы двигателя, так как часть топлива конденсируется на еще холодных стенах цилиндров. При этом необходимо также учитывать нагрузку и состояние двигателя.

Холостой ход. Требуется обогащение смеси для устойчивой работы ДВС. В то же время на холостом ходу хуже наполнение цилиндров и больше остаточных газов. При прогреве двигателя подача топлива также увеличивается при пониженной температуре охлаждающей жидкости и повышении нагрузки.

Принудительный холостой ход — когда коленчатый вал двигателя вращается за счет кинетической энергии автомобиля. Этот режим наблюдается, например, при движении автомобиля с высокой скоростью при выключеной передаче и отпущенном педали управления дроссельной заслонкой. Если при этом обороты двигателя выше так называемой восстановляемой частоты вращения, подача топлива прекращается. Соответственно уменьшается расход топлива.

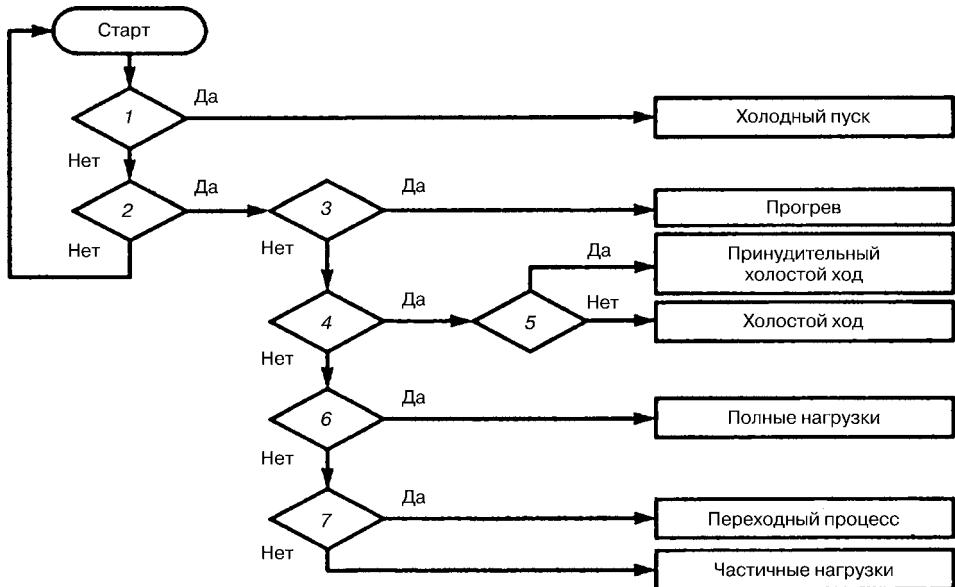
Частичные нагрузки. Следует обеспечить минимально возможный расход топлива. Топливной экономичности или минимальной токсичности отработанных газов удается добиться при использовании регулирования состава выхлопных газов и нейтрализаторов.

Полная нагрузка. Производится обогащение смеси. Избыток топлива необходим для получения максимальной мощности и охлаждения двигателя за счет испарения части топлива.

Переходные процессы. Чтобы двигатель устойчиво работал при ускорении, необходимо обогащение смеси. Система управления определяет, присутствует ли ускорение и требуется ли обогащение смеси. Смесь обогащается тем больше, чем холоднее ДВС и дальше действует режим изменения нагрузки.

При резком повышении мощности двигателя скачкообразно открывается дроссельная заслонка. Если система дозирования карбюраторная, используется ускорительный насос, в результате состав оборудования и параметры настройки контура регулирования изменяются. Это обстоятельство позволяет отнести систему дозирования к адаптивной системе управления.

Цель управления определяется требованиями к ДВС, и на каждом режиме работы она своя. На режиме полного и почти полного открытия дроссельной заслонки в двигателях с искровым зажиганием важнейшим становится требование получения максимального крутящего момента при обеспечении



бездetonационной работы на данном топливе и заданных динамических показателей. На режиме частичных нагрузок на первый план выдвигается требование ограничения токсичности выбросов и высокой топливной экономичности.

Для определения режима работы ДВС (рис. 5.1) применяется специальная программа опроса датчиков.

Могут использоваться специальные двухпозиционные датчики и сигналы о частоте вращения вала.

Для определения переходных режимов нужна информация о скорости измерения частоты вращения, расходе воздуха и положении дроссельной заслонки.

5.2. ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ ПИТАНИЯ

Преобразователи, используемые в системах питания ДВС, преобразуют сплошные потоки жидкых и газообразных веществ в квантовые порции, а затем производят распыление и преобразование в газообразное состояние.

Дозирование. Количество поступающей в цилиндры горючей смеси зависит от расхода компонентов и времени их поступления:

$$V_t = F_t t_{\pi}; V_v = F_v t_{\pi},$$

где V_t , V_v — количество топлива и воздуха; F_t , F_v — расход топлива; t_{π} — время поступления компонентов.

Расход компонентов определяется выражением

$$F = \frac{\Delta P}{R},$$

где ΔP — разность давлений, обеспечивающая движение компонентов; R — сопротивление движению.

Состав смеси определяется соотношением доз компонентов, поступающих в цилиндр. Изменение расхода, как известно, можно осуществлять дозирующими регулирующими органами, т. е. изменения сопротивление движению или движущую силу.

При внутреннем смесеобразовании время поступления смеси в цилиндры определяется работой газораспределительной системы. При внешнем — время поступления в цилиндры, время дозирования и смесеобразования различно.

Состав топливно-воздушной смеси выбирается для каждого режима с учетом необходимости обеспечения требований к мощностным, экономическим и экологическим показателям.

Для оценки состава смеси следует воспользоваться коэффициентом избытка воздуха:

$$\alpha = \frac{F_{\text{в}}}{F_{\text{т}} l_0},$$

где $F_{\text{в}}$ — расход воздуха, кг/ч; $F_{\text{т}}$ — расход топлива, поступающего в цилиндры двигателя, кг/ч; l_0 — расчетное количество воздуха, необходимое для полного сжигания 1 кг топлива.

Этот коэффициент является отношением действительного количества воздуха, участвующего в процессе сгорания, к теоретически необходимому для полного сгорания смеси. При стехиометрическом соотношении топлива и воздуха $\alpha = 1$.

Смесеобразование. Протекание процессов смесеобразования и последующее сгорание смеси зависят от многих факторов, в том числе и от способа подачи топлива и воздуха.

Процессы формирования смеси и равномерность распределения ее по цилиндрам зависят от:

- фракционного состава топлива, температуры испарения отдельных фракций топлива и антидetonатора;
- температуры топлива и воздуха, интенсивности подогрева смеси;
- времени испарения;
- относительной скорости воздуха и капель топлива, степени турбулентности потока, площади поверхности испарения.

Для улучшения распыления топлива с целью более равномерного перемешивания смеси, распределения ее по цилиндрам и улучшения процесса сгорания используются различные устройства. По способу воздействия на поток смеси они подразделяются на группы:

- подогрева воздуха, поступающего на дозирование;
- подогрева топливно-воздушной эмульсии при смесеобразовании;
- подогрева воздуха во впускном трубопроводе;
- механического воздействия на топливно-воздушную смесь;
- обработки смеси физическими воздействиями различного рода.

Механизмы смесеобразования при карбюрации и централизованном впрыске имеют много общего, так как топливо в обоих случаях вводится в воздушный поток в одном и том же месте впускного тракта — перед впускным трубопроводом.

Распыление. После выхода струи топлива из распылителя карбюратора начинается ее распад. Этот способ распыления называется воздушным или пневматическим, так как для дробления топлива используется кинетическая энергия воздуха.

Для обеих систем дисперсность распыленного топлива зависит от давления, формы распылительных отверстий распылителя форсунки (инжектора) и скорости (расхода) топлива в них, а также от вязкости и поверхностного напряжения.

5.3. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ПИТАНИЯ

Классификация систем питания ДВС может быть проведена по следующим признакам:

Способу подачи смеси или компонентов:

- карбюрация;
- впрыск;
- непосредственно в камеру сгорания;
- во впускной тракт;
- распределительный впрыск;
- центральный впрыск.

Числу форсунок:

- с индивидуальной форсункой для каждого цилиндра (распределительный впрыск);
- с индивидуальной форсункой для каждого цилиндра и с одной пусковой форсункой;
- с одной форсункой для всех цилиндров (центральный впрыск).

Времени дозирования:

- непрерывные;
- периодические.

Роду энергии, используемой в элементах топливной аппаратуры:

- механические;
- гидравлические;
- пневматические;
- тепловые;
- электрические.

Типу материалов, используемых в элементах:

- механические;
- электротехнические;
- электронные.

Принципу действия регулирующего органа:

- дросселирующие;
- дозирующие.

Дозированию:

- дозирование смеси;
- дозирование компонентов.

Регулированию состава смеси по:

- разряжению во впускном тракте;
- углу поворота дроссельной заслонки;
- расходу воздуха.

Месту смесеобразования в:

- цилиндрах (двигатели с внутренним смесеобразованием);
- специальных устройствах (двигатели с внешним смесеобразованием).

Еще недавно для топливоподачи широко использовались карбюраторы.

В качестве устройств топливно-воздушной системы — поплавковые карбюраторы (рис. 5.2).

В камере 1 карбюратора с помощью регулятора LC , $B1$ поддерживается постоянный уровень топлива. Дозирование топлива осуществляется путем истечения его из камеры через дроссель 2 постоянного сечения под действием разности давлений, создаваемых топливом в поплавковой камере и разрежением во всасывающей магистрали ДВС 6 с расходом F_t . Подача воздуха осуществляется путем всасывания его из атмосферы через фильтр под действием разрежения во всасывающей магистрали ДВС с расходом F_b . Воздух и топливо поступают на стимулирующее устройство 3 (диффузор), где осуществляется перемешивание и распыление смеси. Расход горючей смеси F_c задается с помощью дроссельной заслонки 4, перемещаемой посредством механического привода (педали) 5. Доза горючей смеси определяется временем открытия клапана газораспределительного устройства. В газовой системе топливоподачи используется программное управление, реализованное аппаратным способом с жесткой программой.

Принцип работы любой системы впрыска заключается в задании массового или объемного расхода воздуха F_{b2} , необходимого для работы ДВС на определенном режиме. По расходу воздуха следящая система регулирования формирует необходимый F_t . Величина F_{b2} устанавливается путем изменения положения дроссельной заслонки G_{d3} . Если несовершенство конструк-

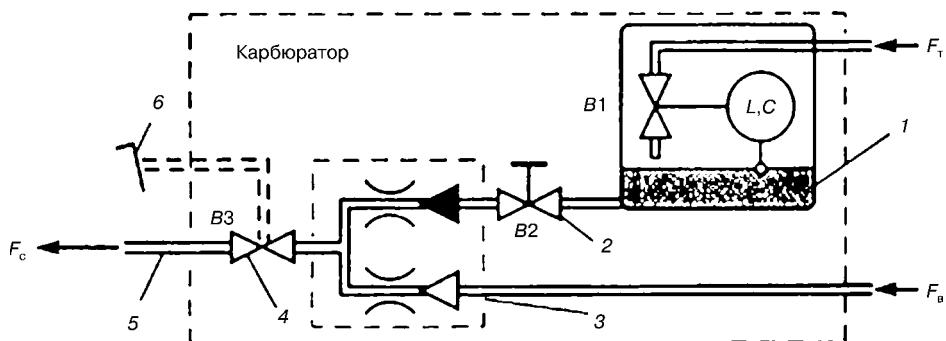


Рис. 5.2
Функциональная схема поплавкового карбюратора

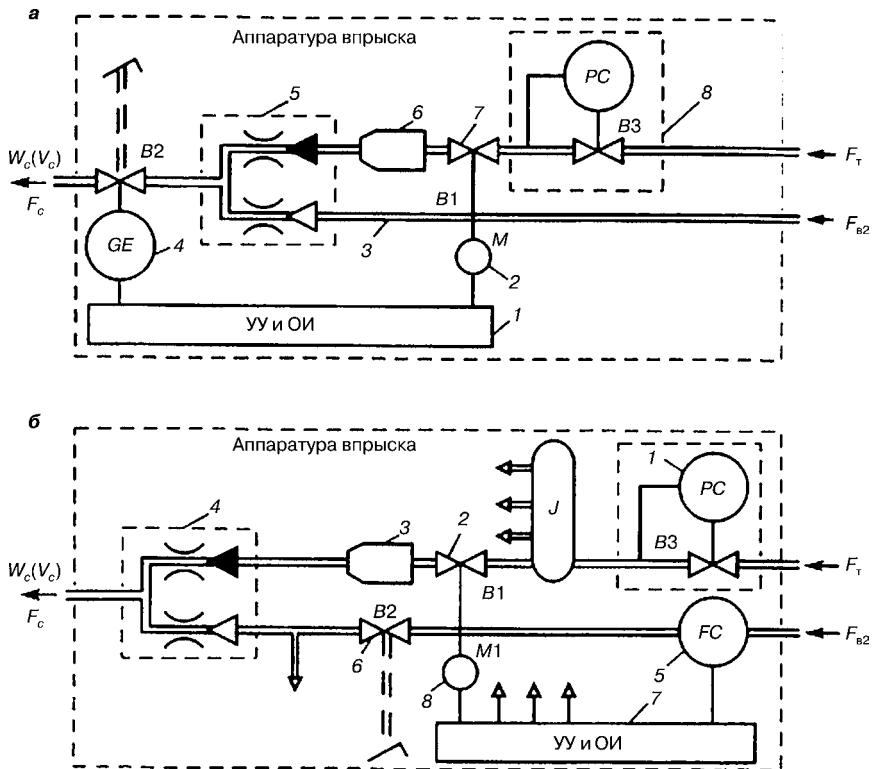


Рис. 5.3
Функциональная схема системы впрыска:

а — центральный впрыск; *б* — индивидуальный впрыск.

ции и технологии изготовления узла дроссельной заслонки не позволяет обеспечить требуемую точность задания F_{bz} , то приходится применять дополнительный датчик массового или объемного расхода.

При центральном впрыске (рис. 5.3*a*) топливо под давлением поступает в топливоподающую магистраль, постоянное давление в которой обеспечивает регулятор 8 (*PC*, *B3*).

Топливо через дросселирующее устройство 7 (*B1*) поступает на форсунку 6 и далее во впускной тракт перед впускным трубопроводом. Воздух в камеру смесеобразования 5 поступает так же, как и при карбюрации, через трубопровод 3. Поэтому механизмы смешивания при карбюрации и центральном впрыске имеют много общего. Расход горючей смеси F_c задается положением дроссельной заслонки *B2*. По углу положения, который определяется с помощью датчика 4 (*GE*), устройство управления и обработки информации УУ и ОИ 1 выдает команды на исполнительный механизм 2 (*M*) для регулирования расхода топлива.

При индивидуальном впрыске (рис. 5.3*b*) форсунки 3 устанавливаются перед каждым цилиндром и топливо попадает в индивидуальную камеру смесеобразования 4 через коммутатор-распределитель *J* и регулятор давления 1 (*PC*).

Воздух в камеру смесеобразования поступает через общий датчик расхода 5 (*FE*) и дроссельную заслонку 6. После дроссельной заслонки воздух отводится и в другие цилиндры. УУ и ОИ 7 по расходу воздуха выдает команды на исполнительные механизмы 8 (*M1*) для регулирования необходимого расхода топлива через клапан 2 (*B1*).

Система впрыска путем изменения режима работы форсунок осуществляет дозирование горючей смеси и в конечном счете формирует массу W_c или объем V_c горючей смеси (заряда).

5.4. УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ВПРЫСКА ТОПЛИВА

В настоящее время применяются два метода топливоподачи — центральный (одноточечный) и распределительный (многоточечный) впрыск. Карбюраторы уже практически вытеснены из двигателей с рабочим объемом, превышающим 2,7 л, системами с распределенным впрыском топлива. Структура построения и принцип работы всех систем впрыска одинаковы.

Совершенствование систем управления впрыском шло по пути перехода на дискретные виды модуляции и исключение механических элементов. Основу системы управления составляют датчики.

Структурная схема системы управления питания ДВС по методу распределенного впрыска топлива в цилиндры приведена на рис. 5.4.

Топливо из бака 1 забирается электрическим топливным насосом 2 и подается через фильтр 3 к распределительной магистрали 4. Регулятор давления топлива в системе 5 поддерживает постоянное давление и осуществлял слия излишнего топлива в бак. Каждый цилиндр имеет свою форсунку 6 с электромагнитным управлением, впрыскивающую топливо перед впускным клапаном во впускной коллектор 7. Объем поступающего воздуха зада-

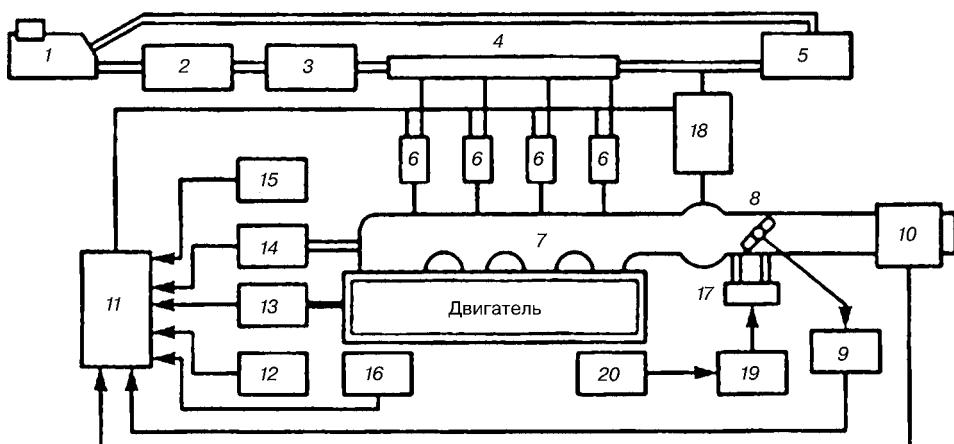


Рис. 5.4
Структурная схема системы управления распределенным впрыском

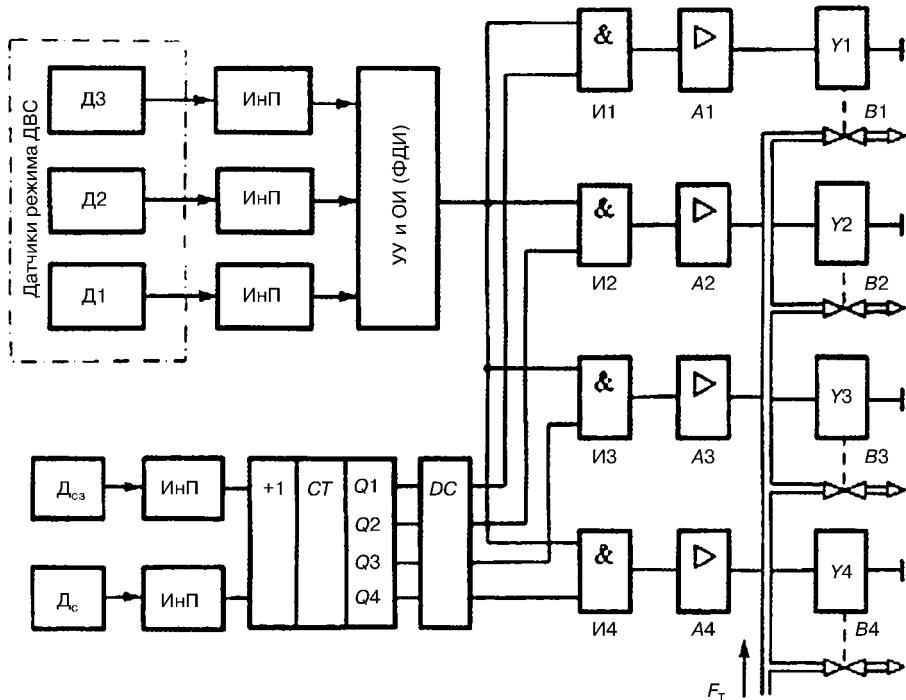


Рис. 5.5
Структурная схема системы управления
впрыском четырехцилиндрового ДВС на дискретно-кодовых элементах

ется положением дроссельной заслонки 8, которая определяется датчиком 9. Если не обеспечивается заданная точность формирования дозы воздуха, то используют расходометр воздуха с датчиком 10. На основании информации с датчика 10 контроллер 11 определяет требуемое количество топлива. Количество впрыскиваемого топлива уточняется по информации, поступающей из датчиков температуры 12 и давления воздуха 15, частоты вращения вала 13, нагрузки двигателя 14 и температуры охлаждающей жидкости 16. Клапан дополнительной подачи воздуха 17 проводит к двигателю добавочный воздух при холодном пуске и нагреве двигателя. Для облегчения пуска холодного двигателя применяется пусковая электромагнитная форсунка 18. Продолжительность открытия клапана формируется устройством управления 19 на основании информации с датчика температуры 20. В качестве устройства управления используется термореле.

Первые системы впрыска с электронными элементами изготавливались на основе схемы рис. 5.5.

Доза топлива, поступающего в коллектор при постоянном давлении, определяется временем его истечения. Целью системы управления впрыском является формирование длительности импульсов впрыска. Управляющая подсистема или гидропневматический клапан обратной связи по существу — преобразователь аналоговых сигналов с датчиков, определяющих режим работы ДВС. Сигналы с датчиков режима ДВС через информационные

преобразователи (ИнП) поступают на устройство управления и обработки информации (УУ и ОИ). Электромагнитные форсунки состоят из электромагнитов Y-Y4 и регулирующих органов B1-B4, включенных в магистраль топливоподачи F_t . Управляющие импульсы на электромагниты форсунок поступают через распределитель, состоящий из счетчика (СТ) с дешифраторм DC и схем совпадения И1-И4. Для обеспечения необходимого тока в обмотках электромагнитов используются усилители мощности A1-A4. Синхронизация импульсов впрыска топлива осуществляется сигналами с датчика системы зажигания Δ_{c3} . Для восстановления синхронности работы системы при сбое в СТ сигналом с датчика синхронизации Δ_c устанавливается нулевое значение кода. Наведенный в катушке сигнал запускает блокинг-генератор. Сигнал падает на вход R СТ. В простейшем случае, при использовании резистивных датчиков или при функциональном преобразовании выходных сигналов с датчиков сопротивления, в УУ и ОИ суммируются сопротивления датчиков

$$R_\Sigma = \sum_{i=1}^n R_i.$$

Суммарное сопротивление включается в заданную цепь мультивибратора. Схема централизованного впрыска с датчиком расхода и клапаном добавочного воздуха приведена на рис. 5.6.

Отличительной особенностью систем с центральным впрыском является использование одной электромагнитной форсунки на весь ДВС. Форсунка

находится перед дросселем в центральном узле впрыска, регулятор давления устанавливается рядом.

Дозирование топлива выполняется следящей системой по массе воздуха. Корректировка дозы топлива при холодном пуске и прогреве осуществляется контроллером по информации об охлаждающей жидкости и положении дросселя. Изменение дозы топлива происходит за счет увеличения или уменьшения времени впрыска при постоянном давлении. Регулирование холостого хода достигается вращением дросселя шаговым электродвигателем. При этом увеличивается или уменьшается количество воздуха в зависимости от отклонения мгновенного значения частоты вращения коленчатого вала от名义ального. Контроллером определяется и скорость вращения дроссельной заслонки. При ускорении рабочая смесь обогащается.

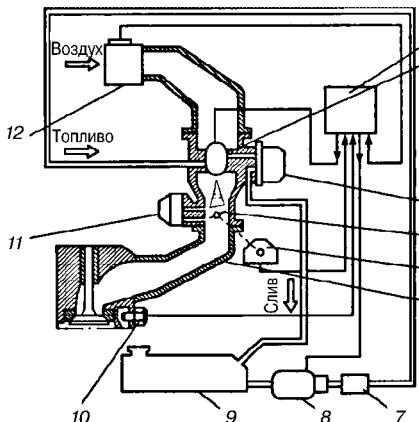


Рис. 5.6

Схема системы управления централизованным впрыском:

- 1 — контроллер;
- 2 — форсунка;
- 3 — регулятор давления;
- 4 — дроссельная заслонка;
- 5 — датчик положения дроссельной заслонки;
- 6 — впускной коллектор;
- 7 — топливный фильтр;
- 8 — электрический топливный насос;
- 9 — бензобак;
- 10 — датчик температуры охлаждающей жидкости;
- 11 — клапан дополнительной подачи воздуха на холостом ходу;
- 12 — датчик расхода воздуха.

6.1.

ТРЕБОВАНИЯ
И ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ
КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

К современным автомобильным двигателям предъявляется целый ряд требований, многие из которых, например мощностные, экономические и экологические, противоречат друг другу. Выполнение всех требований одновременно и в полной мере практически невозможно. Следует иметь в виду и то, что ряд требований, например экологические, жестко регламентированы нормами и поэтому являются обязательными. Некоторые требования устанавливаются с учетом уровня развития данной техники и в значительной мере определяют ее конкурентоспособность.

Очевидно, что до начала конкретной разработки двигателя отрабатывается прежде всего его основополагающая концепция в зависимости от предъявляемых требований: например, создание двигателя высокоэкономичного, или экологически чистого, или высокофорсированного. Несмотря на выбранную концепцию, необходимо учитывать в той или иной мере весь комплекс предъявляемых к двигателю требований, поэтому степень их выполнения представляет собой результат разумного компромисса.

Для автомобильного двигателя характерна работа при изменении в широком диапазоне нагрузочного, скоростного и теплового режимов работы. В условиях эксплуатации двигатель функционирует в основном на неустановившихся режимах, к которым относятся: пуск и прогрев, разгон и торможение, нагружение, в том числе и резкое (наброс нагрузки), сброс нагрузки, остановка двигателя. При этом возникает ряд дополнительных требований, следствием чего является специальное управление работой двигателя на этих режимах.

Следует иметь в виду, что предъявляемые к двигателю требования могут отличаться друг от друга в зависимости от

режима его работы (максимальная мощность, частичные нагрузки, холостой ход, пуск и др.). Например:

- на режимах полных нагрузок — получение возможной топливной экономичности, обеспечение экологических показателей и надежной работы двигателя, отсутствие (для бензинового двигателя) детонации;
- на режимах частичных нагрузок — получение максимально возможной топливной экономичности и требуемого протекания характеристики крутящего момента, низкие выбросы токсичных веществ;
- на режиме холостого хода — устойчивая работа при минимальной частоте вращения вала двигателя.

Высокие значения КПД двигателя без МПСУ достигаются в небольшой части поля его рабочих характеристик, получение же наилучших результатов во всем диапазоне режимов и условий работы двигателя является наиболее важным требованием, предъявляемым к двигателю, оснащенному МПСУ.

Немаловажное значение имеет и требование обеспечения длительной эксплуатации двигателя без ухудшения его экономических и экологических показателей.

Общие характеристики двигателя как объекта управления. В теории автоматического управления принято характеризовать объект управления, в данном случае — двигатель, набором из двух типов внешних входных воздействий: управляющих и возмущающих, а также выходных управляемых параметров и зависимостями управляемых параметров от входных (рис. 6.1).

Прежде всего важно количество управляемых параметров. Если их несколько, как у двигателя, то такой объект управления называется многомерным.

Управляемые параметры двигателя разнородны, среди них те, что характеризуют режим его работы и состояние двигателя. В число управляемых параметров двигателя входят: частота вращения, мощность, крутящий момент, температура и давление охлаждающей жидкости и масла, содержание вредных выбросов в отработанных газах, содержание кислорода в отработанных газах и др.

Входные управляющие воздействия поступают от внешних по отношению к двигателю систем, главная из которых — управляющая, в МПСУ дви-

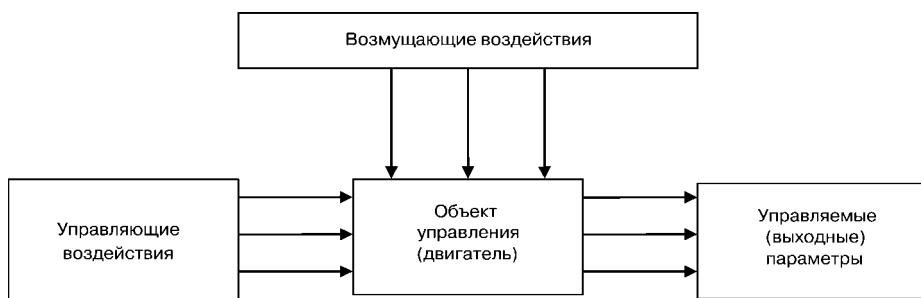


Рис. 6.1
Внешние воздействия, поступающие в двигатель,
и управляемые выходные параметры, характеризующие состояние двигателя

гателем это микроконтроллер. Одной из основных внешних систем является водитель; как правило, он воздействует на двигатель через микроконтроллер. Управляющие воздействия должны обеспечить требуемое изменение выходных параметров. Если таких воздействий несколько, то управление называется многопараметрическим.

Перечислим ряд управляющих воздействий (в зависимости от типа двигателя): количество поданного в цилиндры воздуха, давление наддува, давление, продолжительность и фазы впрыскивания топлива, величина угла опережения зажигания, степень сжатия, фазы газораспределения, количество рециркулируемых отработанных газов, число работающих цилиндров и др.

В качестве входных воздействий могут быть приняты и косвенные величины, непосредственно связанные с указанными выше, но более доступные для контроля. Например, значение угла открытия дроссельной заслонки для оценки количества поданного в цилиндры воздуха, величина подъема клапана рециркуляции для оценки количества рециркулируемых отработанных газов, значение абсолютного давления или разрежения во впускном трубопроводе после дроссельной заслонки для оценки крутящего момента и др.

Как правило, предпочтительнее применять комплексные параметры, обобщенно выраждающие некоторые из указанных выше параметров, например значения коэффициента избытка воздуха, коэффициента наполнения и др.

Для двигателя характерны многочисленные сложные внутренние связи между каналами преобразования в нем внешних воздействий. Поэтому, в частности, каждое из управляющих воздействий может влиять на несколько управляемых параметров двигателя. Соответственно для достижения желаемых результатов выбор многих управляющих воздействий должен зависеть от выбора же других воздействий. Такое управление является многосвязанным.

Эффективное управление двигателем осуществляется только за счет согласованного совместного взаимосвязанного выбора всех управляющих воздействий в многопараметрическом управлении.

Внешние возмущающие воздействия в основном препятствуют управлению, отклоняя управляемые параметры двигателя от желаемых значений. Действия возмущений не только препятствуют достижению оптимальных (наилучших возможных) значений управляемых параметров, но и могут полностью нарушить работу двигателя. К таким возмущениям относятся: параметры внешней среды, внешняя нагрузка, возникающая при изменении условий движения автомобиля, параметры топлива и др. Возмущениями являются и изменения состояния распыливающих отверстий в форсунках и т. п. Обычно возмущающие воздействия являются случайными и делятся на контролируемые (измеряемые для учета их влияния в системе управления) и неконтролируемые.

Указанный комплекс воздействий, их внутренние связи по своей физической природе и форме весьма разнообразны и в большинстве случаев неоднозначны. В современных МПСУ управление по каждому управляющему

воздействию строится прежде всего по автономному независимому контуру, а необходимая связанность управления осуществляется дополнительными управляемыми межконтурными связями.

Автомобильные двигатели принадлежат к числу наиболее сложных объектов управления. Разработка самих систем управления является трудоемким процессом, сложность которого усугубляется следующими особенностями двигателя как объекта управления:

1. Необходимость учета динамики. Автомобильный двигатель работает преимущественно на динамических режимах. Кроме того, двигатель является динамически несимметричным объектом, т. е. процессы, протекающие при разгоне и торможении автомобиля или при пуске и остановке двигателя, сильно отличаются друг от друга, вследствие этого существенно отличаются и способы управления двигателем на этих режимах.

2. Характер переходных процессов, протекающих в двигателе и его системах, различен. Одни процессы протекают настолько быстро, что могут быть приняты как мгновенные. Другие происходят существенно медленнее. Наконец, есть переходные процессы, длящиеся столь медленно, что с точки зрения управления они могут рассматриваться как квазистатические.

3. Нелинейность. Главным упрощением, к которому зачастую прибегают при математическом описании сложных объектов управления, является линеаризация, т. е. описание свойств объекта с помощью линейных дифференциальных уравнений. Для двигателя такая замена во многих случаях невозможна из-за наличия существенных нелинейностей. Поэтому хорошо разработанная теория линейных систем может быть использована только для приближенного исследования свойств, характеризующих двигатель как объект управления. Некоторые исследования должны основываться, например, на решении нелинейных дифференциальных уравнений. Для проектирования МПСУ с учетом существенных нелинейностей характеристик двигателей целесообразно использование гармонической линеаризации и фазовых портретов.

4. Трудность или невозможность измерения важнейших управляемых параметров двигателя и возмущающих воздействий в условиях эксплуатации. Как указывалось, основной целью управления является обеспечение желаемых значений управляемых параметров на всех режимах работы двигателя. В МПСУ добиться этого несложно, так как имеется полная информация об управляемых параметрах двигателя и возмущающих воздействиях. Однако возможности получения такой информации в автомобиле при его эксплуатации (например, экологических показателей двигателя) в настоящее время ограничены, потому что необходимая для этого измерительная аппаратура только создается, а прямое измерение мощностных или экономических параметров является достаточно сложным. Поэтому в современных МПСУ двигателем применяются в основном системы управления, в которых используется неполная информация об управляемых параметрах двигателя и возмущающих воздействиях.

5. Неопределенность характеристик, как и отдельных параметров двигателя, включает неидентичность, нестабильность и случайность. Процессы

преобразования в двигателе внешних воздействий, их внутренние связи по своей физической природе, статическим и динамическим характеристикам в большинстве случаев неоднозначны, прежде всего из-за неидентичности параметров деталей и узлов разных образцов двигателей одной модели и даже одинаковых деталей одного двигателя в результате погрешностей изготовления и сборки. Неидентичность даже в пределах допусков, принимаемых при изготовлении двигателя, вызывает необходимость ее преодоления системой управления. Нестабильность выражается в том, что характеристики двигателя (или его отдельные параметры), сошедшего с конвейера, не остаются неизменными на протяжении всего времени его эксплуатации. Они существенно меняются с течением времени. Это связано с явлениями износа, старения, отложениями нагара и др. Изменения характеристик двигателя могут быть значительными и иногда носят скачкообразный характер, при этом соответственно будут изменяться и параметры двигателя. Для сохранения управляемых параметров двигателя неизменными МПСУ должна обладать необходимыми точностью и быстродействием, а система управления двигателем — учитывать особенность каждого конкретного двигателя, на котором она применена. Неопределенность двигателя выражается и случайным характером возможных изменений многих входных воздействий, а следовательно, и управляемых параметров двигателя. Например, случайными являются изменения нагрузки на валу двигателя в процессе движения автомобиля, протекание смесеобразования и сгорания в цилиндре в отдельных циклах и др. Учет их требует рассмотрения вероятностных моделей. Исследование работы двигателя и создание систем управления без учета случайных изменений внешних воздействий и параметров двигателя является серьезным упрощением и в ряде случаев неправомерно.

6. Особенность нормирования показателей двигателя. Нормирование некоторых показателей двигателей, прежде всего количества выбросов вредных веществ, проводится по интегральным показателям за сумму определенных эксплуатационных режимов (так называемые ездовые циклы). Ездовые циклы состоят из стандартизованного набора режимов движения автомобиля, включая режимы разгона и торможения автомобиля и изменения теплового состояния двигателя. То, что управляющие воздействия должны быть выбраны для каждого конкретного установившегося и неустановившегося режима работы двигателя, а нормы допустимых уровней выбросов вредных веществ для этих режимов отсутствуют, существенно затрудняет процесс выбора программ управления. Дополнительные трудности возникают в связи с тем, что в разных странах приняты различные ездовые циклы и разные требования к показателям автомобиля, и, следовательно, программы управления приходится выбирать с учетом требований страны, в которой будет эксплуатироваться автомобиль.

7. Импульсный характер работы двигателя делает невозможным осуществление непрерывного управляющего воздействия по ряду параметров (впрыскивание топлива, искровое зажигание), что относит его к классу импульсных (дискретных) объектов управления. Сами цифровые системы управления также являются дискретными.

Однако в двигателе протекают не только дискретные, но и непрерывные процессы. Примерами последних могут служить процессы в системах газообмена, смазки, охлаждения, нейтрализации отработанных газов и др. Это заставляет при создании системы управления учитывать необходимость перевода аналоговой информации в цифровую и обратно, а также использовать как аналоговые, так и дискретные исполнительные устройства, а при моделировании системы во временной области переходить от описания непрерывных процессов к дискретным и обратно.

Более того, анализ процессов, протекающих в двигателе, показывает, что некоторые из них, например впрыскивание топлива и в определенной мере процесс сгорания, следует рассматривать как протекающие исключительно во времени. Другие, такие как изменение надпоршневого объема, однозначно определяются углом поворота коленчатого вала.

Если учесть, что угловая частота вращения вала неравномерна во времени не только из-за особенностей кинематики шатунно-кривошипного механизма, но и из-за неустановившегося характера движения автомобиля, неидентичности последовательных циклов, крутильных колебаний, перекладки зазоров в передачах и т. п., становится очевидной трудность формирования различных управляющих воздействий.

Преодолевать возникающие при этом высокочастотные возмущения должна сама система управления.

6.2. СОСТАВ И СТРУКТУРА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВС

МПСУ двигателем (рис. 6.2) состоит из объекта управления — двигателя — и микроконтроллера с входящими в него микропроцессором, датчиковой аппаратурой и исполнительными устройствами.

Основу МПСУ составляет микропроцессор, который получает информацию от датчиков 5 о состоянии двигателя, характеризуемых комплексом управляемых параметров 4, и об

условиях его работы, характеризуемых комплексом контролируемых возмущающих воздействий 6. (Вредное влияние неконтролируемых возмущающих воздействий устраняется или хотя бы уменьшается микроконтроллером без информации об их значениях.) Задание микроконтроллеру (заданный режим работы двигателя) выражается информацией 1 о положении педали управления.

На основании введенной в микропроцессор информации формируется комплекс управляющих воздействий 2 (сигналов в виде кодов).

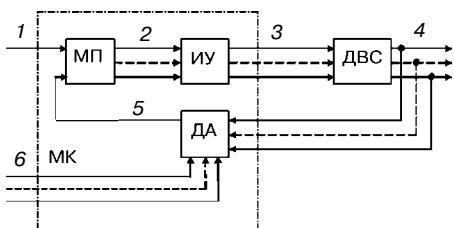


Рис. 6.2

Функциональная схема МПСУ:

ДВС — двигатель, объект управления; МК — микроконтроллер; МП — микропроцессор; ДА — датчиковая аппаратура; ИУ — исполнительные устройства; 1 — информация о положении педали управления; 2 — управляющие воздействия МП; 3 — управляющие воздействия МК; 4 — управляемые параметры; 5 — информация от датчиков; 6 — контролируемые возмущающие воздействия.

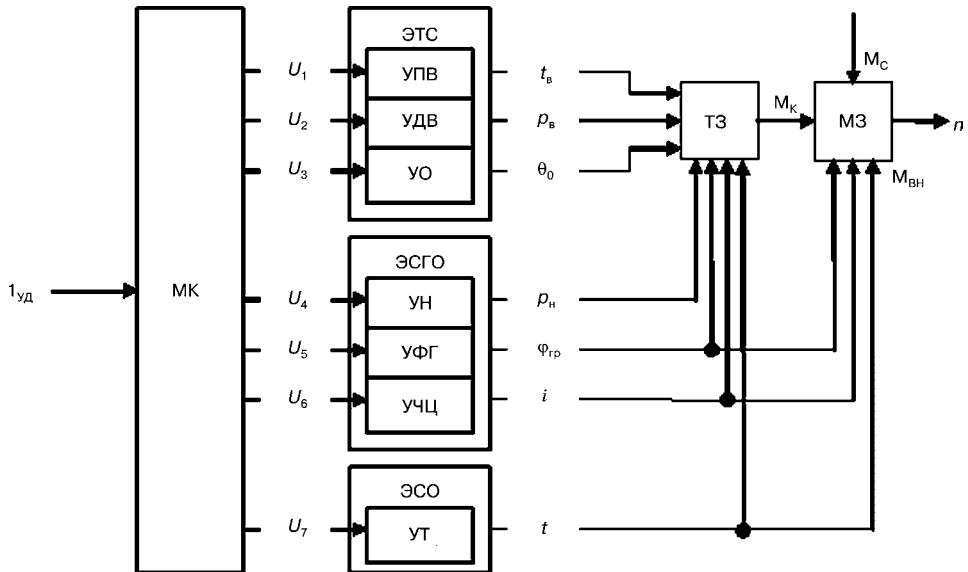


Рис. 6.3
Упрощенная функциональная схема МПСУ двигателем:

$1_{уд}$ — положение педали управления; U_1-U_7 — управляющие воздействия; ЭТС, ЭСГО, ЭСО — электронные системы: топливная, газообмена и охлаждения; УПВ, УДВ, УО — каналы управления продолжительностью впрыскивания топлива, давлением впрыскивания и опережением впрыскивания топлива / зажигания; УН, УФГ, УЧЦ — каналы управления наддувом, фазами газораспределения и числом работающих цилиндров; УТ — канал управления температурами в системах двигателя; ТЗ — тепловое звено; МЗ — механическое звено; M_k — крутящий момент; M_c , $M_{вн}$ — внешний и внутренний моменты сопротивления; n — частота вращения вала двигателя; t_v — длительность впрыскивания топлива; p_v — давление впрыскивания топлива; θ_0 — опережение впрыскивания топлива; p_n — давление наддува; φ_{rp} — фазы газораспределения; i — число работающих цилиндров; t — температура в системе охлаждения двигателя.

Исполнительные устройства содержат силовую электронику и исполнительные механизмы, осуществляющие комплекс управляющих воздействий 3 микроконтроллера на двигатель, т. е. в виде воздействий физической природы и уровней, необходимых для восприятия двигателем и его системами. В итоге они создают реальные параметры топливоподачи, воздушного заряда и др., непосредственно управляющие рабочим процессом в цилиндрах двигателя, а также влияют на системы смазки, охлаждения и прочие системы.

Поскольку такие параметры и воздействия, формируемые исполнительными устройствами, пропорциональны соответствующим управляющим воздействиям микропроцессора и отличаются от них только физической природой, целесообразно в общем случае говорить о комплексе управляющих воздействий микроконтроллера.

Собственно датчики и исполнительные механизмы действуют непосредственно в системах двигателей. Но в структурах систем управления удобнее относить их к микроконтроллеру, а не к двигателю — объекту управления.

Для более полного представления о функциональных связях в МПСУ на рис. 6.3 приведена одна из возможных схем, где представлены три

электронные (электронно-управляемые) системы и только один управляемый параметр — частота вращения вала двигателя, который рассматривается как выходной сигнал механического звена двигателя, преобразующего разность крутящего момента и моментов сопротивления, с учетом момента инерции, в изменение частоты вращения вала.

В механическое звено входят все движущиеся детали двигателя и производимого им агрегата (нагрузки). В момент сопротивления кроме внешней нагрузки входит и внутренняя, включая трение в движущихся деталях вследствие изменения температуры масла, числа работающих цилиндров и др.

Как это показано на схеме, крутящий момент создается тепловым звеном двигателя. В действительности выходным воздействием теплового звена являются силы, создаваемые на поршнях от давления газов в цилиндрах. Но преобразование сил на поршнях в крутящий момент происходит мгновенно, поэтому без ущерба достоверности можно считать выходным воздействием теплового звена крутящий момент.

Входные управляющие воздействия на тепловое звено создаются электронными (электронно-управляемыми) системами.

Управляющие воздействия U_i вырабатываются микроконтроллером. В рассматриваемой схеме указан только один входной сигнал $1_{уд}$ микроконтроллера, несущий информацию о положении педали управления, которое устанавливается водителем. Эта информация представляет собой общее задание системе управления.

Основные задачи, которые стоят при проектировании микроконтроллера, — это выбор согласованных решений по структуре и параметрам отдельных составных элементов, их взаимных связей, разработка математического обеспечения, подбор датчиков и исполнительных устройств.

Структурная схема обобщенного микроконтроллера показана на рис. 6.4.

Основу микроконтроллера составляет микропроцессор с устройствами ввода и вывода (УВВ), который получает информацию от датчиковой аппаратуры через интерфейс ввода и управляет двигателем через интерфейс вывода. Кроме того, микропроцессор осуществляет диагностирование двигателя и самой МПСУ.

Микропроцессор имеет три типа памяти.

1. ОЗУ, необходимое для хранения текущей информации и обеспечения работы системы управления. Находящаяся в нем информация теряется при отключении питания (аккумуляторной батареи).

2. ПЗУ, в котором находятся программы, обеспечивающие управление и конкретные значения калибровок (калибровки — конкретные численные значения параметров программ) данной системы. Эти данные не могут быть изменены без замены ПЗУ или его перепрограммирования на специальных установках.

3. ППЗУ используется для временного хранения дополнительной информации, необходимой для работы системы. Информация в нем является энергонезависимой и может сохраняться при отключении питания микроконтроллера.

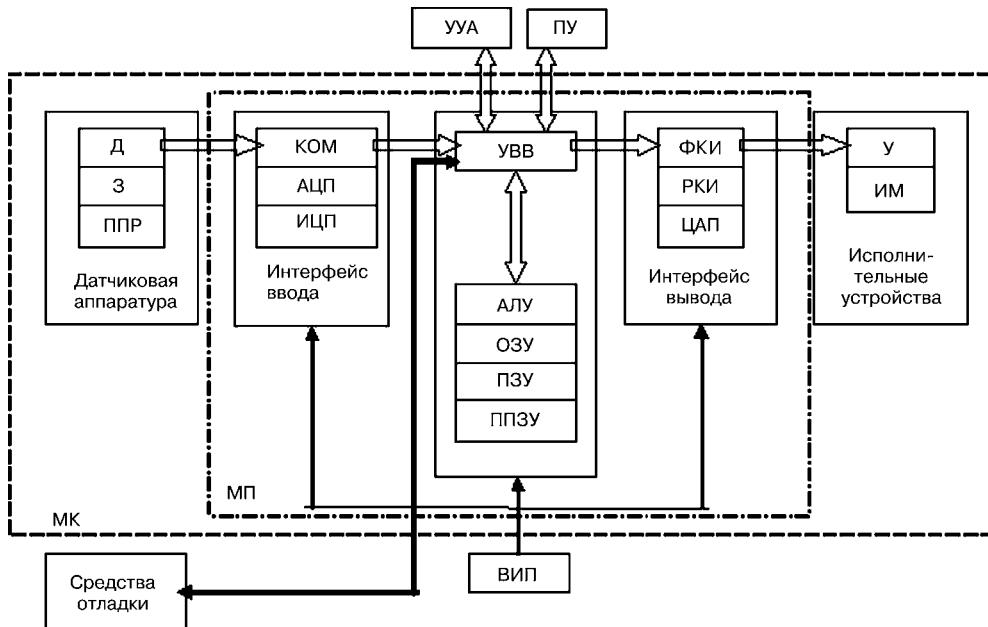


Рис. 6.4
Схема обобщенного микроконтроллера:

УУА — устройство управления автомобилем; ПУ — пульт управления; ВИП — вторичные источники питания. Состав МК: МП — микропроцессор. Датчиковая аппаратура: Д — датчики; З — задатчики; ППР — первичные измерительные преобразователи. Исполнительные устройства: У — усилители; ИМ — исполнительные механизмы. Состав МП: УВВ — устройство ввода-вывода; АЛУ — арифметико-логическое устройство; ОЗУ — оперативное запоминающее устройство; ПЗУ — постоянное запоминающее устройство; ППЗУ — перепрограммируемое запоминающее устройство. Интерфейс ввода: КОМ — коммутатор; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ИЦП — импульсно-цифровой преобразователь. Интерфейс вывода: ФКИ — формирователь командных импульсов; РКИ — распределитель командных импульсов; ЦАП — цифроаналоговый преобразователь.

Микроконтроллер имеет связи как с УУА, так и с ПУ, на которых работает водитель (или наладчик системы в процессе отладки МПСУ, для чего предусмотрено подключение средств отладки).

Главный задатчик — датчик, установленный непосредственно на педали и фиксирующий ее положение. Другие задатчики конструктивно могут быть включены в пульт управления.

Датчики располагаются в разных системах двигателя. В системы встраиваются и исполнительные механизмы, а усилители иногда располагаются вблизи этих механизмов.

Остальные элементы микроконтроллера и вторичные источники питания ВИП обычно заключены в так называемый электронный блок управления — ЭБУ или ECU (Electronic Control Unit). Практически ЭБУ — основной конструктивный блок микроконтроллера, вне которого находятся только датчики и исполнительные устройства. Поэтому термин «электронный блок управления» обычно используется как синоним электронного управляющего устройства, но более правильно считать ЭБУ составной частью микроконтроллера.

ВИП, исполнительные механизмы или их усилители питаются от первичного источника — аккумуляторной батареи.

Цифровой микропроцессор не может непосредственно обрабатывать аналоговые сигналы, поэтому в интерфейсе ввода предусматривается аналого-цифровой преобразователь.

В состав некоторых ППР могут входить АЦП и ИЦП, образуя с соответствующими датчиками «интеллектуальные датчики».

Микропроцессор управляет работой микроконтроллера с использованием ряда программ-алгоритмов, хранящихся в ПЗУ.

6.3. ОПТИМАЛЬНОЕ, АДАПТИВНОЕ И РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕМ

Оптимальное управление двигателем. В неэлектронных системах минимально необходимое качество управления двигателем достигается избыточностью запасов устойчивости, крутящего момента, прочности и, как следствие, увеличенным расходом топлива и выбросами вредных веществ и т. п.

Традиционными целями управления даже для наиболее сложных в управлении двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива в цилиндры являлись установление и последующая стабилизация частоты вращения, а для автомобильных двигателей с регулируемой передачей еще и мощности двигателя.

Цель современного подхода к управлению двигателями — оптимизация управления (достижение поставленных целей наилучшим с точки зрения принятого критерия образом при наличии ограничений). Сущность оптимизации заключена в получении необходимого качества двигателя за счет устранения избыточности, т. е. осуществления полного и эффективного использования имеющихся возможностей, заложенных в конструкцию двигателя, применяемых в нем материалов и технологии изготовления каждого его образца.

Оптимизация имеет смысл только при наличии обобщенного показателя качества — критерия оптимальности или целевой функции, достаточно ощутимо отражающего эффективность управления. Немаловажна также доступность критерия оптимальности, возможность его определения и использования в системе управления.

В общем случае качество двигателя определяется совокупностью технических, экономических и экологических показателей. Среди них есть как непосредственно управляемые, так и предопределенные возможностями МПСУ. В число непосредственно управляемых технических показателей двигателя входят: крутящий момент, частота вращения, давление и температура в системах топливоподачи, наддува, смазки, охлаждения, содержание кислорода в отработанных газах, главный из экономических показателей — текущий, а следовательно, и эксплуатационный, расход топлива, а также расходы масла, воздуха, воды.

Непосредственно управляемы следующие экологические показатели: состав и количество вредных выбросов, уровень и спектр шума и вибраций.

Относительная значимость этих показателей качества двигателя зависит от назначения и условий его работы.

Повышение качества двигателя в широком смысле достигается оптимизацией конструкции, а также технологии изготовления, методов и средств испытания и доводки двигателя, его систем и агрегатов, включая систему управления, и прежде всего обеспечиваемое ею качество управления двигателем.

Практически решение этой комплексной задачи распадается на три отдельные задачи:

1) оптимизация, осуществляемая разработчиками и изготовителями двигателя и его систем на стадиях проектирования, изготовления, модернизации и ремонта;

2) оптимизация управления двигателем, выполняемая автоматически микропрограммой в процессах стендовой отладки и эксплуатации двигателя;

3) оптимизация собственно управляющего устройства — микропрограммного, — проводимая как на стадии проектирования разработчиками, так и в эксплуатации — автоматически самой системой управления.

Основная цель применения МПСУ — оптимизация управления двигателем, что по сути означает обеспечение в любой момент времени необходимых значений управляемых параметров двигателя с наилучшим качеством при выполнении ограничений. Практика показывает, что при наличии микропроцессорной адаптивной системы оптимального управления выполнение всех других функций можно реализовать обычно без применения дополнительных аппаратных средств.

Современные электронные средства и методы управления двигателями на основе информационных и компьютерных технологий, учитывающих их специфические особенности как объектов микропроцессорного управления, позволяют радикально улучшить практически все их характеристики.

Конкретной частной задачей управления двигателем в эксплуатации может быть оптимизация установившихся режимов, процессов прогрева и пуска, разгона и торможения, набросов и сбросов нагрузки, остановки двигателя и др. Для каждого из них должны использоваться различные варианты критерия оптимальности в зависимости от выбранной конструкции двигателя.

Даже при решении задач оптимизации управления двигателем только в эксплуатации и с ограниченным перечнем управляющих воздействий трудно выбрать единый обобщенный критерий оптимальности управления. Частные задачи оптимизации управления двигателем решаются разными программами, имеющимися в микропрограмматоре.

В наиболее общем случае в качестве критерия оптимальности используется расход топлива при ограничениях на управляющие воздействия по техническим и экологическим параметрам. Это обусловлено в основном возможностью использования в качестве сигнала, выражающего текущее значение расхода топлива двигателем, управляющего воздействия системы автоматического регулирования частоты вращения, входящей в состав микропрограмматора наиболее сложно управляемых двигателей.

Выходной сигнал (управляющее воздействие) регулятора частоты есть его реакция на любые возмущения, поступающие в систему регулирования

частоты вращения. Этот сигнал определяет цикловую подачу топлива, выражая точно и быстро изменения, происходящие в двигателе. В микропроцессорных регуляторах частоты он представляется числом (кодом), удобным для контроля и обработки в микропроцессоре. Будучи эквивалентен расходу топлива (наиболее общему критерию оптимальности) и соответственно крутящему моменту, а при постоянной частоте вращения — и эффективной мощности двигателя, выходной сигнал может широко использоваться для реализации оптимального управления, как, впрочем, и в других задачах.

Не менее важным является оптимизация собственно микроконтроллера. Очевидно, что практически во всех случаях критерий оптимальности должен учитывать обеспечиваемые им быстродействие и точность управления двигателем, надежность и стоимость. Для достижения указанных целей необходимо осуществлять управление примерно следующими воздействиями или процессами:

- продолжительностью впрыскивания топлива индивидуально для каждого цилиндра;
- составом смеси;
- дросселированием заряда при впуске;
- опережением впрыскивания топлива или зажигания;
- давлением впрыскивания топлива;
- числом фаз и характеристиками впрыскивания топлива;
- ограничениями параметров впрыскивания топлива;
- давлением наддувочного воздуха;
- фазами газораспределения и величиной подъема клапанов;
- интенсивностью вихревого движения заряда в цилиндре;
- подачей воздуха на режиме холостого хода;
- количеством рециркулирующих газов;
- газодинамической настройкой впускного тракта;
- подачей вторичного воздуха к нейтрализатору;
- температурами в системах охлаждения, смазки, воздухоснабжения;
- числом работающих цилиндров;
- степенью сжатия;
- равномерностью нагрузки цилиндров;
- улавливанием паров топлива.

Микроконтроллер также должен осуществлять:

- включение и выключение ряда систем и агрегатов (топливные насосы, кондиционер, система подогрева нейтрализатора и др.);
- выбор и поддержание значений регулируемых параметров, обеспечивающих оптимальное или, в частности, заданные значения критериев качества;
- диагностику двигателя и системы управления;
- предупредительную сигнализацию и аварийную защиту двигателя.

Для каждого конкретного двигателя и каждого варианта условий его работы набор таких функций может быть разным.

Алгоритмы управления двигателем. Первым и наиболее важным этапом на пути построения автоматической системы управления двигателем является получение математических моделей, описывающих поведение двигате-

ля, т. е. изменения его управляемых параметров в зависимости от изменений управляющих и возмущающих воздействий. От того, насколько полны и достоверны математические модели, зависит выбор алгоритмов управления, их сложность, точность и быстродействие. Следует только иметь в виду, что современные методы управления, например с самообучением, могут обеспечить желаемое качество управления даже при полном исходном отсутствии математических моделей объектов управления. В этом случае аналитически-математические модели заменяются задаваемыми или обучающимися таблицами (матрицами) значений управляющих воздействий, т. е. модель задается в виде матричного полинома.

Главной характеристикой любого управляющего устройства являются алгоритмы управления, показывающие, какая информация и как используется в микропроцессоре или, обобщенно, — в микроконтроллере для формирования управляющих воздействий. Алгоритмы управления реализуются в программных блоках микропроцессора.

Многомерность, многопараметричность двигателя и многочисленность задач управления им требуют применения широкого набора разнообразных алгоритмов управления в микроконтроллере. Очевидно, что в зависимости от назначения требования к алгоритмам меняются, поэтому можно говорить о необходимости целого их набора. Создание такого комплекса алгоритмов управления двигателя, так же как и разработка самих систем управления, является сложным и трудоемким процессом.

Алгоритмы управления могут быть представлены в виде функциональных или структурных схем, а также блок-схем программ функционирования микропроцессоров.

Каждой из частных систем управления при ее создании задается исходная версия своего алгоритма управления. В большинстве случаев она остается неизменной на весь период эксплуатации двигателя, но может быть улучшена в процессе функционирования системы.

К основным функциональным алгоритмам, обеспечивающим работу МПСУ, относятся:

- диспетчер времени, регулирующий последовательность выполнения всех операций и их привязку ко времени и/или к углу поворота коленчатого вала;
- программы сбора, обработки и распределения информации;
- диспетчер режимов, определяющий режим работы двигателя и соответственно ветвь программы, по которой должно строиться управление;
- алгоритмы формирования управления по всем управляющим воздействиям;
- алгоритмы преобразования и вывода управляющих команд на исполнительные устройства;
- алгоритмы, обеспечивающие диагностирование работы системы управления и ее элементов, а также запоминание и вывод соответствующей информации;
- алгоритмы, обеспечивающие работоспособность МПСУ при отказе отдельных ее элементов;

- алгоритмы бортового диагностирования работы двигателя средствами МПСУ и вывода соответствующей информации;
- алгоритмы оптимизации, адаптации и самообучения.

Алгоритм выбирается, опираясь на заданные требования к качеству управления каждым двигателем и с учетом его конкретного назначения. Прежде всего алгоритмы зависят от принципиальной структуры системы управления, которая может быть замкнутой, разомкнутой и комбинированной.

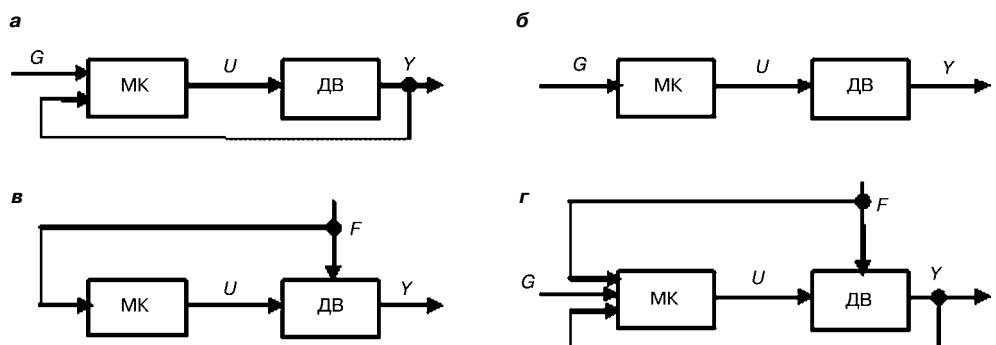
Во всех системах управления и в каждом из их элементов обязательно присутствует прямая связь — воздействие входного сигнала на выходной. Обратная связь — воздействие выходного сигнала на входной — может быть обусловлена естественными свойствами системы или целенаправленно создана в ней.

Обратные связи могут охватывать как всю систему управления, так и любую ее часть.

Обратные связи могут иметь место, например, в исполнительных устройствах и быть как отрицательными, уменьшающими несоответствие значений выходного сигнала значениям входного сигнала, так и положительными, увеличивающими это несоответствие до технически максимально возможного предела. Положительные обратные связи могут быть только местными, охватывающими отдельные части систем; если они охватывают всю систему (с выхода на вход), тогда она вообще лишается возможности выполнять свое назначение.

Замкнутые системы — здесь реализуется принцип управления по отклонению. Функциональная схема замкнутой системы с управлением по отклонению представлена на рис. 6.5а.

Отклонением или ошибкой управления называют разность E между заданным G и действительным Y значениями управляемого параметра ($E = G - Y$). Замкнутой такая система называется потому, что в ней информация, выражаемая изменяющимися по своей природе или виду сигналами, передается по замкнутому контуру: от микроконтроллера к двигателю — прямая связь,



а — замкнутая система с управлением по отклонению; **б** — разомкнутая система с управлением по заданию; **в** — разомкнутая система с управлением по возмущению; **г** — комбинированная система с управлением по отклонению и возмущению.

и от двигателя к микроконтроллеру — обратная. Эта обратная связь отрицательная, так как она предназначена для уменьшения отклонения E .

Микроконтроллер соответственно запрограммированному в нем алгоритму управления формирует по величине и знаку отклонения E такое управляющее воздействие U , которое устранит или, по крайней мере, уменьшит отклонение, возникшее по любой причине (от любого даже неконтролируемого возмущения, неточностей математического описания, изменений и нелинейностей характеристик объекта или изменения задания).

Замкнутые системы могут обеспечить любую сколь угодно высокую точность. Но не исключена коррекция: введение специальных звеньев и связей для обеспечения устойчивости и необходимого качества переходных процессов.

К сожалению, для двигателей не все системы управления могут быть выполнены замкнутыми. Это связано с трудностью измерения в эксплуатационных условиях таких важнейших управляемых параметров, как содержание вредных веществ в отработанных газах, мощностные и экономические показатели двигателя и др., т. е. организации обратной связи.

Разомкнутые системы — в них реализуется принцип управления по заданию. Схема такой системы показана на рис. 6.5б. Алгоритм ее управления использует информацию только о задании G . Сформированное на ее основе управляющее воздействие U поступает по прямой связи к двигателю. Обратной связи в системе нет. Поэтому такие системы имеют неограниченное быстродействие. Однако их точность ограничена, так как определяется достоверностью информации о преобразовании двигателем U точностью преобразования G в необходимое U .

Основным недостатком разомкнутых систем является то, что они не позволяют учитывать фактическое изменение управляемых параметров двигателя. Так, например, если из-за фактически пониженного октанового числа топлива или в результате повышенного отложения нагара в камере сгорания возникнет детонационное сгорание, система будет по-прежнему поддерживать то же значение угла опережения зажигания. Аналогично при обеднении смеси из-за закоксовывания форсунок длительность импульса, управляющего открытием форсунок, не изменится для поддержания необходимого состава смеси, а угол опережения зажигания не увеличится для компенсации необходимого при обеднении смеси замедления сгорания.

Как отмечалось, двигатель является объектом связанного многопараметрического управления, и изменение одного из управляющих воздействий, как правило, требует изменения и других. Так, иные состав подаваемой смеси или количество рециркулирующих газов требуют изменения угла опережения зажигания и/или интенсивности вихревого движения заряда. Связанными оказываются значения частоты вращения, опережения зажигания, состава смеси и количества добавочного воздуха на режиме холостого хода и др.

Разомкнутые системы представляют собой простейший вариант программных систем управления, так как их воздействия на объект формируются по программам микроконтроллера. Команды по каждому управляющему воздействию формируются в соответствующих контурах почти независимо; они могут быть однозначно жесткими или корректироваться в функции

всего комплекса задачий и контролируемых возмущений. Для осуществления связанного управления в этом случае необходимо на начальной стадии определения и введения в систему конкретных программ производить совместный их выбор одновременно по всем связанным друг с другом управляющим воздействиям.

В разомкнутых системах реализуется и принцип управления по возмущению, представленный на рис. 6.5в. U формируется микроконтроллером по информации о возмущении F . Преобразование F в Y происходит по двум параллельным каналам: естественное преобразование в двигателе и управляющее преобразование, осуществляющееся в микроконтроллере. Обратной связи также нет. И в этой схеме быстродействие не ограничено, но точность невелика.

Разомкнутая система вообще не может устранять влияние неконтролируемых возмущений, неточностей математического описания, изменений характеристик объекта управления. Пример такой системы — управление ограничением подачи топлива по давлению наддува пневмокорректором в механическом регуляторе частоты вращения двигателя. Точность такой коррекции ограничена погрешностями механизмов пневмокорректора и тем, что она не учитывает других (неконтролируемых) возмущений, например изменений температуры воздуха и теплофизических параметров топлива.

Целесообразно совмещение управления по заданию и возмущению. В управлении бензиновыми двигателями практически повсеместно используют именно такое совмещение принципов разомкнутого управления.

Основные свойства всех разомкнутых систем одинаковы: высокое быстродействие и ограниченная точность.

Комбинированные системы. Наилучшее качество управления достигается при сочетании разомкнутых и замкнутых систем. На рис. 6.5г показана схема комбинированного управления по отклонению и возмущению, что позволяет достичь большой точности при высоком быстродействии. Примером такой системы служит система управления частотой вращения двигателя с использованием воздействия (импульса) по главному возмущению — нагрузке.

Адаптивное и робастное управление двигателем. Достижение оптимальности управления затруднено как из-за отсутствия практической возможности подробного математического описания процессов, протекающих в двигателе при различных условиях и режимах работы, так и из-за перечисленных выше его особенностей. Заранее нельзя предвидеть и отклонения внешних условий работы двигателя. Достижение в этих условиях результатов, близких к оптимальным, возможно только адаптивными методами управления.

Термин «адаптация» заимствован теорией управления из биологии и обозначает свойство приспособления организма к изменениям окружающей среды. Элементы приспособления в той или иной мере присутствуют в любом процессе управления двигателем. Например, в системе автоматического регулирования частоты вращения — отработка изменившегося задания, устранение влияния нагрузки и т. д. Однако такое приспособление не требует включения в состав системы управления специальных устройств и связей, сверхфункционально необходимых для установления и поддержания желаем-

мых параметров двигателя. Оно закладывается в управляющее устройство на стадии проектирования системы управления.

Несколько более заметно приспособление, осуществляемое программным управлением. Примером может служить изменение опережения начала подачи топлива в функции величины подачи в механических и гидромеханических системах управления дизелем, осуществляемое косой кромкой нагнетательного плунжера ТНВД при повороте плунжера исполнительным механизмом регулятора частоты вращения. Такая программа имеет жесткий однозначный характер и разрабатывается на стадии проектирования системы управления на основе начальной информации о желаемой зависимости начала подачи топлива от ее величины.

В современном понимании адаптивным считают управление, при котором автоматическое изменение настроек, алгоритмов, критериев качества и даже целей управления, вплоть до самообучения, выполняется на основе сбора и анализа значительного объема информации. Адаптация производится специальными программными блоками в микропроцессоре выполнением процедур автоматического приспособления к любым, в том числе и неконтролируемым, возмущениям, а именно:

- регулированием критерия качества замкнутой системой с обратной связью по отклонению;
- программным управлением в функции возмущений, как правило, по разомкнутым схемам;
- выбором параметров алгоритмов управления путем анализа ситуации, например использованием математических моделей процессов, протекающих в двигателе;
- поиском параметров алгоритмов управления замкнутыми системами, действующими по отклонениям критерия качества, вызванным пробными воздействиями;
- изменением структуры системы управления на основе диагностирования двигателя и для обеспечения надежности.

Принято различать программную, поисковую и аналитическую адаптации.

Программная адаптация выполняется по программам, изменяемым в процессе управления на основе информации об условиях, режиме работы и состоянии двигателя. Формируется программное управление (главным образом в разомкнутых системах) с использованием базовых и корректирующих программ, хранящихся в микропроцессоре. Для каждого управляющего воздействия необходим свой набор программ. Главное ее отличие — гибкость программ, позволяющая осуществлять автоматическую их коррекцию в процессе управления. В этом случае принято говорить о программно-адаптивном управлении.

Метод введения коррекции на базовое значение управляющего параметра путем прибавления к нему величин поправок называется аддитивным.

Иногда для внесения коррекции с учетом действия возмущающих факторов базовое значение управляющего воздействия умножают на несколько коэффициентов, полученных из соответствующих корректирующих матриц. Такой метод формирования программного управления называется

мультиплекативным. И, наконец, возможен смешанный метод построения управления, при котором поправки вводятся как аддитивно, так и мультиплекативно. Такое построение разомкнутого программного управления позволяет осуществить достаточно сложное и точное управление с учетом значительного числа режимных и возмущающих факторов. Возможно и более сложное разомкнутое программно-адаптивное управление, когда не только программы или алгоритмы управления, но и структура системы изменяется в зависимости от условий работы двигателя согласно заранее заложенной программе. Этот подход используется практически во всех системах микропроцессорного управления автомобильными двигателями.

Обычно программные системы наиболее быстродействующие, но в то же время и грубые. Программная адаптация не может обеспечить высокую точность достижения и поддержания оптимума критерия, так как преодолевает неопределенность, созданную только контролируемыми возмущениями. Этого недостатка лишены замкнутые системы управления: для программной адаптации в микропроцессор поступает и информация о фактических значениях основных управляемых параметров двигателя, по которым ведется оценка качества управления.

Но неограниченное быстродействие делает программную адаптацию незаменимой в оптимизации переходных процессов двигателя и гарантирует быстрый выход в область близких к оптимальным настройкам установленных режимов.

Поисковая адаптация — это автоматически проводимый непосредственно на работающем двигателе поиск оптимума критерия качества и вывод двигателя на этот режим. Он осуществляется путем подачи в двигатель проблемных воздействий и анализа получившихся изменений управляющих воздействий и управляемых параметров двигателя, по результатам которого корректируется математическое обеспечение микропроцессора для достижения в итоге оптимальной совокупности управляющих воздействий.

Поисковая адаптация наиболее точна, но процедуры поиска требуют определенного времени. Да и осуществление этих процедур возможно далеко не на всех режимах работы двигателей, и наиболее просто она выполняется на установленных режимах. Адаптация, осуществляемая поисковыми системами, обеспечивает больший эффект за счет более точной оптимизации управляющих воздействий, приспособления к неконтролируемым изменениям условий работы, индивидуальным различиям конкретного образца двигателя, износу деталей и изменениям его характеристик во времени.

Аналитическая адаптация — это вычисление и реализация микропроцессором, например на основе математической модели двигателя, оптимальной совокупности управляющих воздействий. Она достаточно быстродействующая, но требует контроля по крайней мере части возмущений и управляемых параметров двигателя. Точность аналитических систем определяется совершенством модели. Создать модель конкретного двигателя, отражающую индивидуальные, меняющиеся со временем его характеристики, достаточно трудно.

Поисковые адаптивные системы управления для двигателей предпочтительнее аналитических из-за существенно меньшего необходимого объема

начальной информации и невозможности создания достаточно точной модели двигателя.

Наиболее совершенные МПСУ двигателем рационально используют совокупность взаимно дополняющих программной, поисковой и аналитической адаптаций. В этом случае достигается наибольший по точности эффект при высоком быстродействии.

Результаты поисковой адаптации, полученные при решении ее непосредственных задач, используются для коррекции программной адаптации, уточнения математической модели в аналитической адаптации и самообучения.

В некоторых контурах целью адаптации является стабилизация, а не оптимизация качества управления двигателем. Примером служит система управления числом работающих цилиндров дизеля, которая действует путем чередующегося отключения части цилиндров или рабочих циклов в них. В работающих цилиндрах при этом обеспечивается мощность не ниже некоторой величины, т. е. происходит стабилизация (в заданных пределах) рабочего процесса. Это исключает работу двигателя на малых подачах топлива, сопровождающуюся повышенным расходом топлива.

Такова же цель и системы управления равномерностью распределения нагрузки по цилиндрам — стабилизация мощности по среднему ее значению, развиваемой каждым цилиндром.

В обоих случаях стабилизируемым критерием качества служит мощность, развивающаяся каждым из работающих цилиндров. Однако стабилизация рабочих процессов в цилиндрах обеспечивает минимизацию общего расхода топлива двигателем — оптимизацию главного критерия. Иными словами, стабилизация указанного частного критерия качества обеспечивает оптимизацию главного общего критерия — расхода топлива при одновременном ограничении вредных выбросов в атмосферу. Причем и в этих частных задачах стабилизации мощности непосредственно может быть использован соответствующий мощности выходной сигнал регулятора частоты вращения двигателя.

Целью адаптации может быть и обеспечение работоспособности двигателя в изменяющихся условиях, например изменение программы управления параметрами впрыскивания топлива на пусковых режимах в функции температуры масла. Оптимальная по длительности пуска программа для прогрева двигателя исключает пуск холодного двигателя.

Тем не менее общая цель адаптивного управления — это обеспечение оптимального качества работы каждого двигателя при всех возможных условиях его работы.

Оптимизация по указанным частным или общему критериям имеет смысл только в сочетании с ограничениями управляющих воздействий двигателя, вводимыми микроконтроллером для исключения механических и термических перегрузок, заведомо излишней подачи топлива, недопустимых уровней вредных выбросов, шума и вибраций.

Предельно допустимые значения управляющих воздействий изменяются в функции режима и условий работы двигателя. Желание устранить излишние запасы ограничений, с одной стороны, повышающие надежность управления, а с другой — затрудняющие полное использование возможностей

двигателя, определяет необходимость высокой точности управления ограничениями.

В процессе работы двигателя приходится, кроме того, непрерывно определять, по какому из параметров двигателя управляющее воздействие достигло предельно допустимого значения.

В свою очередь, перечень параметров, по которым вводятся ограничения, и их предельно допустимые численные значения зависят от условий работы двигателя и выполняемой системой управления задачи. Например, при возникновении аварийной ситуации на дороге должны оставаться только те ограничения, которые исключают снижение крутящего момента двигателя и возможность выхода из строя его деталей.

Поэтому регулирование ограничений в системе управления двигателем само по себе представляет важную и сложную задачу, решаемую в общем случае перечисленными адаптивными методами или их сочетаниями. Практически такое регулирование ограничений является адаптивным с оптимизацией качества по некоторому комплексному критерию, учитывающему и мощность двигателя, и расход топлива.

Адаптация — не единственный метод достижения высокого качества управления. В системах управления двигателем наряду с адаптивными успешно применяются и *робастные (грубые) методы*. Робастные системы управления двигателем обычно обеспечивают достаточно высокое или даже оптимальное качество управления в одном, наиболее важном или наиболее трудном режиме, например при 100%-ном резком повышении нагрузки. В остальных режимах обеспечивается качество, хотя и не оптимальное, но некритично хуже, чем в выбранном основном режиме. Робастные системы управления обычно более быстродействующие и проще реализуемы, чем адаптивные.

Наибольший эффект дает разумное сочетание в комплексной системе управления двигателем как адаптивных, так и робастных методов. Обычно робастное управление в той или иной мере дополняет адаптивное. Поэтому далее под адаптивным в общем случае понимается *адаптивно-робастное управление двигателем*.

Реализуемость и эффективность адаптивного оптимального управления решающим образом зависят от совершенства используемых алгоритмов управления. Также влияет качество располагаемых средств реализации алгоритмов управления в формируемых управляющих воздействиях (программного и аппаратного обеспечения) и исполнение управляющих воздействий системами двигателя, действующими на рабочие процессы в его цилиндрах, или обобщенно — совершенство методов и средств управления. Именно адаптивное управление двигателей нуждается в обработке наиболее значительного объема информации по достаточно сложным алгоритмам. В частности, реализация перенастраиваемых алгоритмов управления требует не только мощных программных средств, но и возможности изменения структуры микроконтроллера в функционирующей системе управления. Поэтому адаптивное управляющее устройство реализуемо в настоящее время практически только микропроцессором, входящим в микроконтроллер.

7

ЭЛЕКТРОННО-УПРАВЛЯЕМЫЕ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЕЙ

Электронно-управляемые системы для упрощения часто называют просто электронными. Применение электронных систем управления принципиально изменяет характеристики двигателя как объекта управления.

Электронные системы необходимо рассматривать в совокупности их свойств как элементов управления, так и конструкции самого двигателя. Характерно также наличие в каждой из них, как правило, нескольких разнородных электрических исполнительных устройств.

Состав применяемых в настоящее время электронных систем достаточно широк и будет в дальнейшем только расширяться.

Электронными могут быть системы: топливная, газообмена, наддува, зажигания, изменения степени сжатия, рециркуляции отработанных газов, охлаждения, смазки и др. Чем больше число электронных систем, примененных в двигателе, тем обеспечиваются большие возможности оптимизации управления.

Для каждой конкретной модификации автомобиля и каждого варианта условий его эксплуатации может быть выбран перечень электронных систем, оптимальный по соотношению достигаемого экологического и экономического эффекта и стоимости, а также затрат на обслуживание и надежности микроконтроллера и двигателя. Очевидно, что многочисленность электронных систем обеспечивает оптимальность указанного соотношения только при согласованном многосвязном адаптивном микропроцессорном управлении.

Ниже подробно описаны электронные системы топливная и газообмена как наиболее значимые в системах управления двигателем.

7.1. ЭЛЕКТРОННЫЕ ТОПЛИВНЫЕ СИСТЕМЫ

В МПСУ двигателем в числе других его электронных систем непременно присутствует электронная топливная система (ЭТС). Ее использование дает наибольший вклад в эффективность электронного управления двигателем. Во многих случаях применение только ЭТС уже оправдывает создание МПСУ двигателем.

Основное назначение ЭТС — управление мощностью двигателя и обеспечение возможности оптимизации его рабочего процесса. Наиболее полное использование адаптивного управления возможно при индивидуальном управлении подачей жидкого или газообразного топлива в каждом рабочем цикле каждого цилиндра двигателя.

ЭТС двигателей различаются прежде всего уровнем давления топлива:

- низкого (0,2–1,0 МПа) для подачи легких жидкых топлив или газов во впускные каналы цилиндров;
- среднего (20–40 МПа);
- высокого давления (до 200 МПа) впрыскивания жидких топлив непосредственно в цилиндры — наиболее сложные и разнообразные.

ЭТС в любом варианте представляет собой совокупность электрогидравлических устройств, преобразующих электрические управляющие сигналы, формируемые микроконтроллером, в гидравлические импульсы давления впрыскивания топлива.

Управляемыми элементами ЭТС, в которых устанавливаются электромеханические преобразователи или электрические клапаны, могут быть: насосы высокого давления, магистрали высокого, среднего и низкого давления, форсунки и топливоподкачивающие насосы.

Имеется достаточно большое число вариантов ЭТС, отличающихся применяемыми источниками питания форсунок, топливом и способами управления параметрами его впрыскивания.

Применительно к ЭТС высокого давления можно выделить следующие основные их классы с присущими им главными отличительными признаками.

1. Импульсное питание форсунок от ТНВД с механическим приводом плунжеров, с непрерывным усредненным управлением впрыскиванием в ТНВД — ЭТС с непрерывно управляемыми ТНВД (непрерывно управляемые ЭТС).

2. Импульсное питание форсунок от ТНВД с механическим приводом плунжеров, с импульсным индивидуальным управлением продолжительностью и опережением впрыскивания в магистралях высокого давления или форсунках — механоприводные ЭТС.

3. Импульсное питание форсунок от ТНВД с пневматическим приводом плунжеров и импульсным индивидуальным управлением продолжительностью и опережением впрыскивания в магистралях высокого давления или форсунках — пневмоприводные ЭТС.

4. Непрерывное питание форсунок от аккумуляторов топлива среднего давления и импульсной мультиплексацией в ТНВД, с гидравлическим при-

водом плунжеров, импульсным индивидуальным управлением продолжительностью и опережением впрыскивания в ТНВД и/или форсунках при непрерывном управлении давлением в магистралях среднего давления — гидроприводные ЭТС.

5. Непрерывное питание форсунок от аккумуляторов топлива высокого давления и импульсным индивидуальным управлением продолжительностью и опережением впрыскивания в форсунках при непрерывном управлении давлением в магистралях высокого давления — аккумуляторные ЭТС.

Во всех вариантах ЭТС наиболее важными являются те функциональные возможности, которые трудно или вообще не осуществимо в неэлектронных топливных системах. В их числе:

- раздельная управляемость величиной подачи, давлением, опережением, числом фаз, формой характеристики впрыскивания, числом работающих цилиндров (циклов), равномерностью нагрузки цилиндров, ограничением подачи;
- независимость давления впрыскивания от длительности и опережения впрыскивания;
- независимость опережения впрыскивания от длительности и давления впрыскивания;
- возможность сохранения работоспособности двигателя при отказах отдельных элементов.

Сложность адаптации ЭТС на двигателе определяется объемом и характером изменений, вводимых в другие агрегаты двигателя, что вызвано необходимостью размещения и работы ЭТС.

7.1.1. НЕПРЕРЫВНО УПРАВЛЯЕМЫЕ ЭТС

В этих системах импульсным модулятором служит ТНВД, в котором осуществляется формирование гидравлических импульсов питания форсунок топливом и непрерывное усредненное управление параметрами этих импульсов. При этом в ТНВД сосредоточено все управление впрыскиванием, которое может выражаться перемещением реек, определяющих величину, фазу и давление подачи топлива к обычным форсункам, или перемещением клапанов, изменяющих гидравлическое сопротивление на входе, выходе или в перепускных каналах насоса, и т. п.

В большинстве случаев для этого используются электромеханические преобразователи непрерывного действия, но применимы и преобразователи релейного действия, осуществляющие широтно-импульсную модуляцию. Гидравлическая часть такой топливной системы в большинстве случаев мало отличается от систем с механическим или гидравлическим управлением.

Управляющие воздействия на ТНВД формируются и осуществляются микроконтроллером на основе информации о заданной (через задатчик) и действительной (через датчик) частоте вращения, а также информации о состоянии двигателя и связанных с ним агрегатов и от других систем управления через электромеханические преобразователи, установленные в ТНВД.

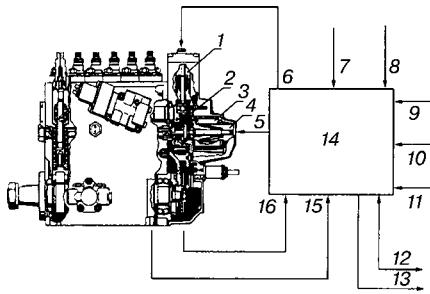


Рис. 7.1

Упрощенная схема ЭТС с многоплунжерным рядным ТНВД с непрерывным управлением пропорциональным электромагнитом:

1 — релейный электромагнит; 2 — пружина; 3 — пропорциональный электромагнит; 4 — якорь; 5 — управление рейкой; 6 — выключение подачи топлива; 7 — давление наддувочного воздуха; 8 — температуры топлива, воздуха и охлаждающей жидкости; 9 — положение педали управления; 10 — скорость автомобиля; 11 — положения сцепления, тормозов; 12 — диагностирование; 13 — расход топлива и частота вращения на дисплей; 14 — микроконтроллер; 15 — перемещение управляющей рейки; 16 — частота вращения.

На рис. 7.1 показана ЭТС с одним из вариантов многоплунжерного рядного ТНВД фирмы Bosch с непрерывным управлением пропорциональным электромагнитом.

Гидромеханическая часть показанного на рисунке шестисекционного ТНВД не отличается от насосов, управляемых центробежными регуляторами частоты вращения двигателя.

Перемещение управляющей рейки осуществляется пропорциональным электромагнитом с коническим якорем и пружиной. Полное выключение подачи, необходимое, например, в аварийных ситуациях, производится релейным электромагнитом. В ТНВД встроены датчики частоты вращения кулачкового вала и перемещения рейки, информация от них поступает в микроконтроллер двигателя, который получает также сведения о давлении наддува, температурах наддувочного воздуха, топлива, охлаждающей жидкости, положении педали управления, скорости движения автомобиля, включении сцепления и тормозов. Информация с микроконтроллера подается в систему диагностирования и на дисплей водителя (о частоте вращения и расходе топлива). Для управления опережением впрыскивания такой ТНВД может быть снабжен вторым пропорциональным электромагнитом с датчиком его положения.

Все большее число двигателей оборудуется распределительными ТНВД. Основными их преимуществами являются в 1,5–2 раза меньшие масса и габаритные размеры, число деталей, включая прецизионные, и стоимость. Они более приспособлены к электронному управлению благодаря удобству встраивания исполнительных механизмов управления величиной подачи и опережением при существенно меньших перестановочных силах исполнительных механизмов.

На рис. 7.2 показано устройство распределительного ТНВД типа VE фирмы Bosch с непрерывным управлением пропорциональным электромагнитом, а на рис. 7.3 — схема ЭТС с ТНВД этого типа.

Исполнительный пропорциональный электромагнит с поворотным сердечником через эксцентрик перемещает дозатор, определяющий величину подачи топлива. Положение дозатора контролируется датчиком. Плунжер-распределитель приводится во вращение от входного вала. Электромагнитный клапан аварийной остановки двигателя при выключении перекрывает канал всасывания насоса. Управление опережением впрыскивания производится электрогидравлическим исполнительным механизмом.

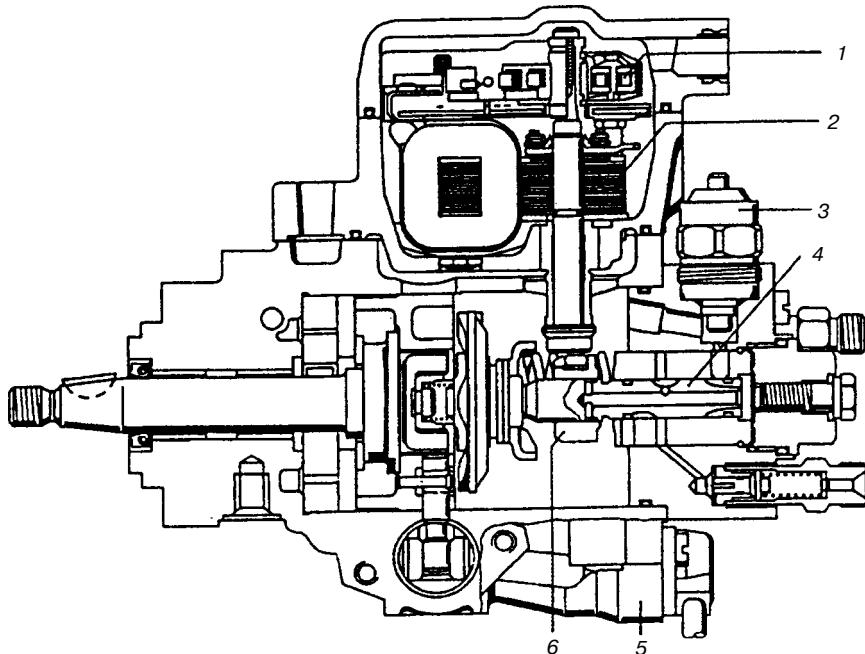


Рис. 7.2

Распределительный ТНВД типа VE

с непрерывным управлением пропорциональным электромагнитом:

1 — датчик хода дозатора; 2 — электромагнит с поворотным сердечником; 3 — электромагнитный клапан остановки двигателя; 4 — плунжер; 5 — исполнительный механизм управления опережением впрыскивания; 6 — дозатор.

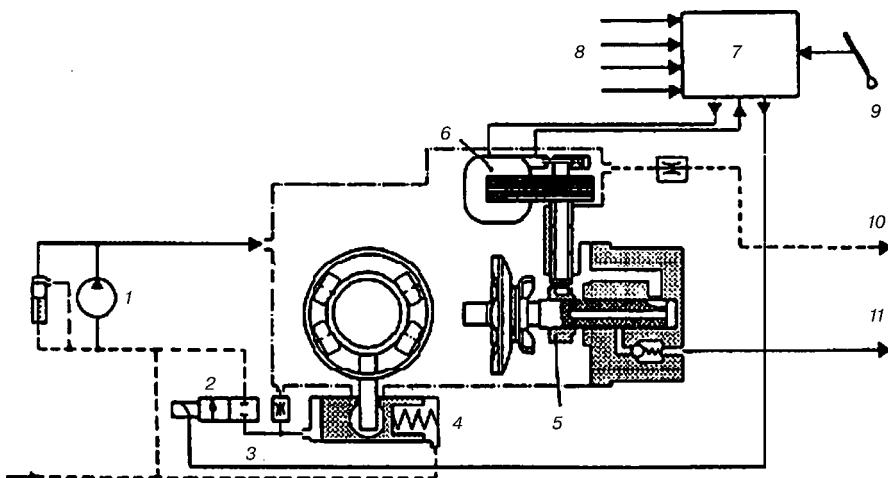


Рис. 7.3

Схема ЭТС с управляемым ТНВД распределительного типа:

1 — топливный насос низкого давления; 2 — электромагнитный клапан механизма управления опережением впрыскивания; 3 — жиклер; 4 — гидромотор механизма управления опережением впрыскивания; 5 — дозатор; 6 — электромагнитный исполнительный механизм управления подачей топлива; 7 — микроконтроллер; 8 — датчики; 9 — педаль управления; 10 — возврат топлива; 11 — линия высокого давления топлива.

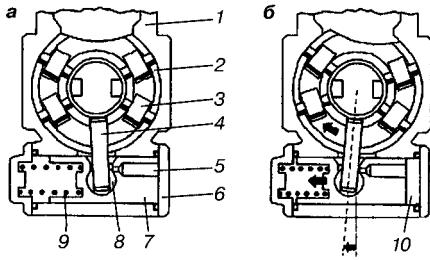


Рис. 7.4

Исполнительный механизм управления опережением впрыскивания:

a — исходное положение; *б* — процесс увеличения угла опережения впрыскивания;
1 — корпус; 2 — кольцо; 3 — ролики; 4 — шток; 5 — канал в поршне; 6 — крышка; 7 — поршень; 8 — шарнир; 9 — пружина; 10 — рабочая камера.

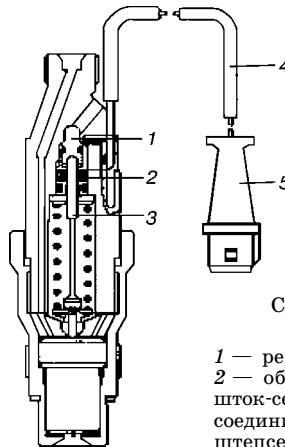


Рис. 7.5
Схема форсунки с датчиком:

1 — регулировочный винт;
2 — обмотка датчика; 3 — шток-сердечник датчика; 4 — соединительный провод; 5 — теплосельный разъем.

В других типах распределительных ТНВД используется более простая схема управления величиной подачи топлива. Вместо муфты-дозатора и пропорционального электромагнита отсечка подачи осуществляется электромагнитным перепускным клапаном с нормально открытым затвором в канале слива из камеры высокого давления. Перед нагнетательным ходом электромагнитный клапан включается, перекрывая канал слива. Для отсечки подачи этот клапан выключается. Он же служит и для аварийного отключения подачи топлива. Принципиально возможно использование перепускного клапана для управления характеристикой впрыскивания, например для двухфазного впрыскивания. Механизм управления опережением впрыскивания ТНВД типа VE представлен на рис. 7.4.

В рабочую камеру через канал 5 с жиклером на входе из внутренней полости насоса поступает топливо под низким давлением. Пропорционально этому давлению поршень, сжимая пружину, перемещается влево и через шарнир; стержень поворачивает кольцо, несущее ролики. В результате плунжером шайбы набегают на ролики раньше, обеспечивая устанавливаемое регулятором опережения фазовое смещение нагнетательного движения плунжера.

Регулятор опережения контролирует действительное опережение впрыскивания по сигналам индукционного датчика подъема иглы форсунки (рис. 7.5).

Обмотка датчика питается постоянным током. При движении иглы вместе со штоком из магнитного материала в обмотке датчика индуцируется электрическое напряжение, используемое для определения момента начала движения штока, а следовательно, и запорной иглы форсунки.

7.1.2. ТОПЛИВНЫЕ СИСТЕМЫ С ИМПУЛЬСНЫМ ПИТАНИЕМ ФОРСУНОК И ИНДИВИДУАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Наиболее удобны для существенного повышения давления впрыскивания системы, в которых высокое давление топлива создается только на время впрыскивания в соответствующий цилиндр. Источником топлива высокого давления в таких системах служит насос (или одна секция насоса) высокого давления.

кого давления, т. е. источник высокого давления топлива в таких системах импульсный. Итак, в каждом канале впрыскивания имеются: магистраль низкого давления, насос высокого давления, магистраль высокого давления, форсунка и входящий по крайней мере в один из этих элементов импульсный управляющий модуль в виде электрического клапана или содержащий электрический клапан.

Главный отличительный признак этих систем — тип привода нагнетательного плунжера ТНВД. Различают механоприводные, пневмоприводные и гидроприводные виды ЭТС с импульсным питанием форсунок.

Механоприводные ЭТС. Здесь используется нерегулируемый ТНВД, имеющий обычный механический привод нагнетательных плунжеров. Упрощение ТНВД состоит в отсутствии регулировочных кромок на плунжерах, механизмов регулирования продолжительности, а в общем случае — и опережения впрыскивания. Профиль кулака насоса желательно выбрать из условий получения большей продолжительности подачи при достаточно постоянном давлении.

В случае если достигнутая продолжительность подачи недостаточна для электронного регулирования опережения впрыскивания, необходимо сохранение в насосе возможностей грубого регулирования опережения подачи. Точное же регулирование начала подачи форсунки осуществляется микроконтроллером изменением фазы управляющего электрического импульса. Он подается на электрический управляющий клапан, установленный в магистрали высокого давления между насосом и обычной механической форсункой. Управляющий клапан имеет нормально открытый затвор. При выключенном клапане топливо из магистрали высокого давления идет на слияние в топливный бак, форсунка при этом остается закрытой. При срабатывании клапана слив из магистрали высокого давления закрывается, давление в ней растет, в результате форсунка открывается и происходит впрыскивание топлива в цилиндр.

Эффективность механоприводных ЭТС зависит от длины трубопроводов высокого давления, поэтому нерационально использовать в них блочные, единые для всех форсунок ТНВД. Более целесообразны индивидуальные, например столбиковые, насосы. Управляющий клапан устанавливается обычно непосредственно на выходе из насоса, хотя конструктивно может быть объединен с форсункой или выполнен в виде отдельно устанавливаемого узла. Механоприводная ЭТС со столбиковым ТНВД приведена на рис. 7.6.

Длина единственного трубопровода высокого давления предельно сокращена. Наиболее предпочтительным является объединение насоса, форсунки и управляющего клапана в единый узел — электроуправляемую или, точнее, электромеханическую насос-форсунку. Тогда высокое давление топлива сохраняется не только минимальное время, но и в минимально необходимой части топливной системы. Исключаются трубопроводы и уменьшается число уплотняемых соединений в магистралях высокого давления топлива.

На рис. 7.7 представлен такой вариант электромеханической насос-форсунки.

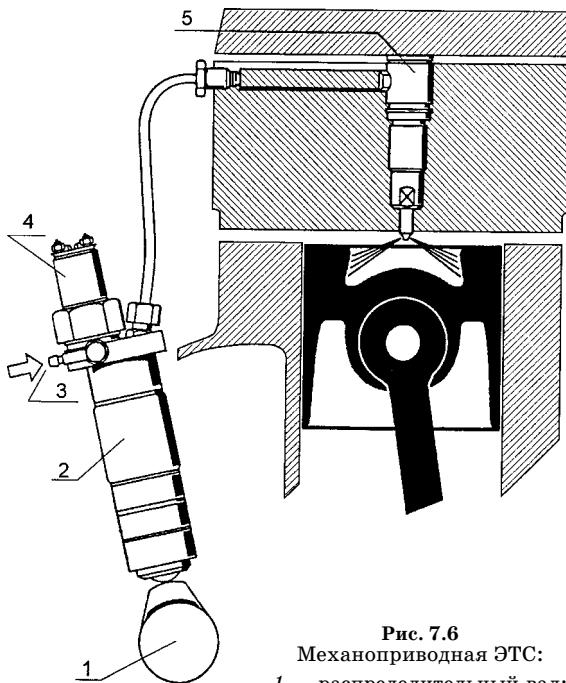


Рис. 7.6
Механоприводная ЭТС:
1 — распределительный вал;
2 — стопливный ТНВД;
3 — подвод топлива;
4 — электромагнитный управляющий клапан;
5 — форсунка.

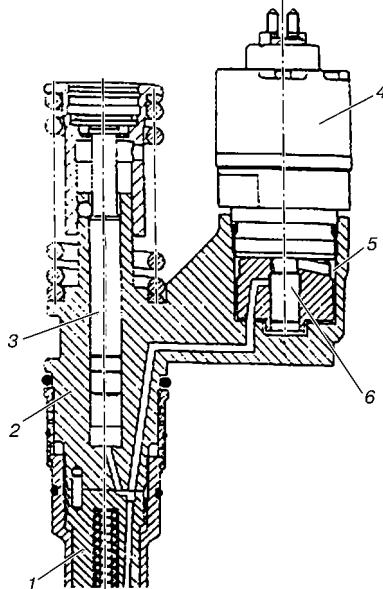


Рис. 7.7
Схема электромеханической
насос-форсунки фирмы Lucas:
1 — форсунка; 2 — насос высокого
давления; 3 — плунжер; 4 — управ-
ляющий клапан; 5 — полость низко-
го давления; 6 — затвор.

Насос-форсунка содержит три основных модуля: насос высокого давления, форсунку и управляющий электромагнитный клапан. С началом нагнетательного хода плунжера до включения электромагнита через нормально открытый затвор управляющего клапана вытесняемое плунжером топливо проходит из насоса в полость, сообщающуюся с магистралью низкого давления. При подаче микроконтроллером электрического импульса на обмотку электромагнита клапан, как показано на рис. 7.7, перекрывает выход топлива в магистраль низкого давления. Давление топлива под плунжером и под иглой форсунки повышается. По достижении под иглой значения давления открытия игла поднимается и начинается впрыскивание топлива в цилиндр двигателя.

При выключении электромагнита управляющий клапан возвращается в исходное положение, открывая канал слива в магистраль низкого давления. Давление в насос-форсунке падает, игла под действием пружины возвращается в исходное положение, впрыскивание прекращается.

Поскольку значения давления топлива в любой момент времени предопределются характеристиками насоса, электрический управляющий импульс задает опережение начала впрыскивания топлива, а продолжительность этого импульса — длительность впрыскивания, т. е. величину подачи топлива.

Пневмоприводные ЭТС. Высокое давление топлива в пневмоприводных ЭТС создается плунжером насоса высокого давления, приводимым порш-

нем, на который непосредственно действует давление воздуха или газов в цилиндре двигателя, а впрыскивание топлива осуществляется электроуправляемыми форсунками. Очевидно, что выполнение пневмоприводных ЭТС целесообразно в виде электропневматических насос-форсунок. На рис. 7.8 показан вариант схемы одного канала пневмоприводной ЭТС с электропневматической насос-форсункой.

Давление, создаваемое пневмоприводным ТНВД на такте сжатия в цилиндре двигателя, поступает в карман распылителя электрогидравлической форсунки и через нормально открытый затвор электромагнитного клапана — в ее управляющую камеру. При срабатывании электромагнитного клапана нормально открытый затвор клапана запирает выход из нагнетательной полости насоса в управляющую камеру форсунки. Открывшимся нормально закрытым затвором управляющая камера переключается на слив. Игла форсунки поднимается и начинается впрыскивание топлива.

При выключении электромагнитного клапана управляющая камера переключается со слива на ТНВД. Высоким давлением топлива в управляющей камере игла закрывается, впрыскивание заканчивается. До следующего такта сжатия игла удерживается силой ее пружины.

После снижения давления в цилиндре в конце такта расширения плунжер и поршень ТНВД снова возвращаются в исходное положение под действием давления топлива от топливоподкачивающего насоса, подаваемого через обратный клапан. Дополнительную возвращающую силу можно создать, например, установкой пружины или другого упругого элемента в камеру над поршнем ТНВД.

Давление топлива в минимизированной по объему магистрали высокого давления воспроизводит изменение давления в цилиндре двигателя. При этом

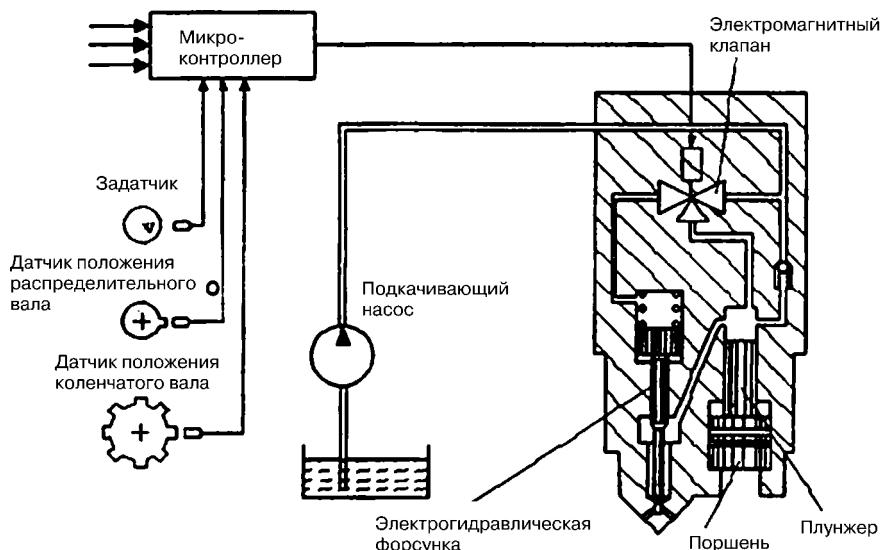


Рис. 7.8
Схема пневмоприводной ЭТС с электропневматической насос-форсункой

имеет место некоторый установившийся коэффициент мультипликации (отношение давления топлива над плунжером насоса к давлению в цилиндре двигателя). Этот коэффициент определяется прежде всего отношением площадей поршня и плунжера, на которые действуют соответственно давление газов в цилиндре и давление топлива, создаваемое над плунжером. В процессе впрыскивания действительное значение коэффициента мультипликации снижается из-за расхода топлива через сопловые отверстия и трения в ТНВД. При наличии возвратной пружины на коэффициент мультипликации дополнительно влияют ее начальная затяжка, жесткость и положение сжимающего поршня.

В беспружинном варианте процесс впрыскивания идет с нарастающим давлением, соответствующим изменению давления в цилиндре двигателя.

Вместе с тем комплекс составляющих, которые определяют коэффициент мультипликации после начала впрыскивания, изменяется. Поэтому характеристике давления впрыскивания может быть придана и другая форма. Например, подбором жесткости пружины можно получить почти постоянное давление перед форсункой. Но управление им потребует заведомо нерентабельного усложнения пневмоприводной ЭТС.

Управление цикловой подачей и опережением впрыскивания осуществляется изменением длительности и фазы электрического управляющего импульса микроконтроллера. Из-за трудностей управления давлением впрыскивания по функциональным возможностям ЭТС с пневмоприводными насос-форсунками существенно уступают аккумуляторным.

По некоторым же конструктивным возможностям они имеют исключительные преимущества. В частности, в электропневматических насос-форсунках минимизированы объем магистрали высокого давления, длины соединительных каналов и практически полностью исключены стыковочные узлы. В итоге обеспечивается сокращение габаритов насос-форсунки и утечек топлива из магистрали высокого давления. ЭТС с электропневматическими насос-форсунками не требуют никакого внешнего привода, это упрощает двигатель и делает каналы топливоподачи по цилиндрам даже более автономными, чем с электромеханическими насос-форсунками, а следовательно, и более отказоустойчивыми.

Электропневматические насос-форсунки позволяют реализовать любую конструктивную схему двигателя, включая нетрадиционные.

Гидроприводные ЭТС. Во многих вариантах таких ЭТС используется топливо, сжатое в аккумуляторах до среднего давления (20–40 МПа). Высокое давление создается импульсно ТНВД с гидравлическим приводом плунжеров. Он представляет собой гидротрансформатор или мультиплексор, содержащий приводной поршень и нагнетательный плунжер, диаметр которого в несколько раз меньше диаметра приводного поршня. Отношение площадей поршня и плунжера называют геометрическим коэффициентом мультипликации.

Каждый из ТНВД имеет электронное импульсное индивидуальное управление и питает, как правило, одну форсунку. В большинстве гидроприводных ЭТС используют обычные форсунки с пружинным запиранием игл. Наи-

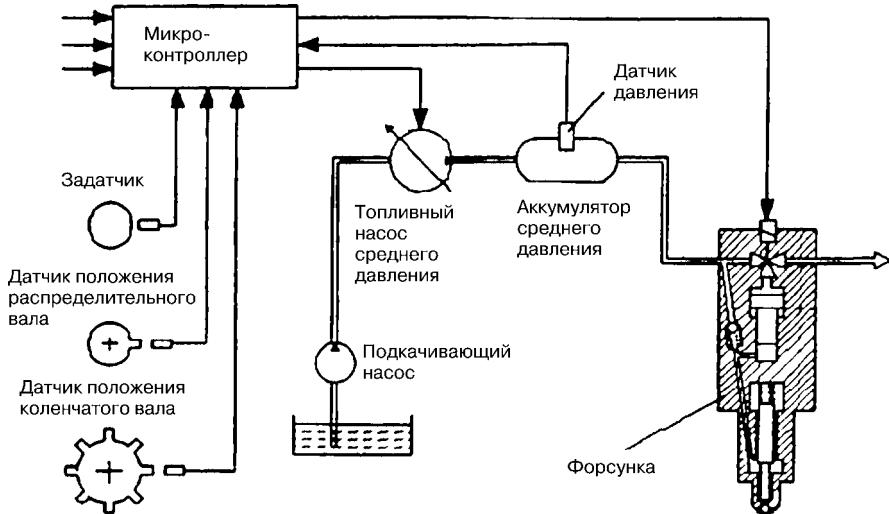


Рис. 7.9
Схема гидропроводной ЭТС с электрогидравлической форсункой

более целесообразно выполнение гидроприводных ЭТС в виде насос-форсунок, которые могут быть названы электрогидравлическими. На рис. 7.9 представлена схема гидроприводной топливной системы с электрогидравлической насос-форсункой.

Среднее давление используется для работы гидравлического привода мультиплексора. В состав магистрали топлива среднего давления входят аккумулятор и насос среднего давления, который управляется микроконтроллером. Над поршнем насоса высокого давления расположена управляющая камера, сообщаемая нормально открытым затвором электрического (обычно электромагнитного) управляющего клапана со сливом, а нормально закрытым — с магистралью среднего давления. После включения электромагнитный клапан подает среднее давление на поршень мультиплексора. Под плунжером мультиплексора создается высокое давление, которое передается на форсунку с пружинным, как на рис. 7.9, или пружинно-гидравлическим запиранием, она открывается и начинается впрыскивание топлива.

Впрыскивание прекращается после выключения электромагнита. Затем управляющий клапан переключает камеру над поршнем мультиплексора с аккумулятора на слив. Среднее давление, поступающее через обратный клапан под плунжер мультиплексора, приводит мультиплексор в верхнее исходное положение.

В рассмотренном варианте управление давлением в камере над поршнем мультиплексора осуществляется микроконтроллером непрерывным изменением производительности топливного насоса среднего давления по отклонению контролируемого датчиком давления в аккумуляторе от заданного. Пропорционально давлению в аккумуляторе изменяется и давление впрыскивания. Управление продолжительностью и опережением впрыскивания

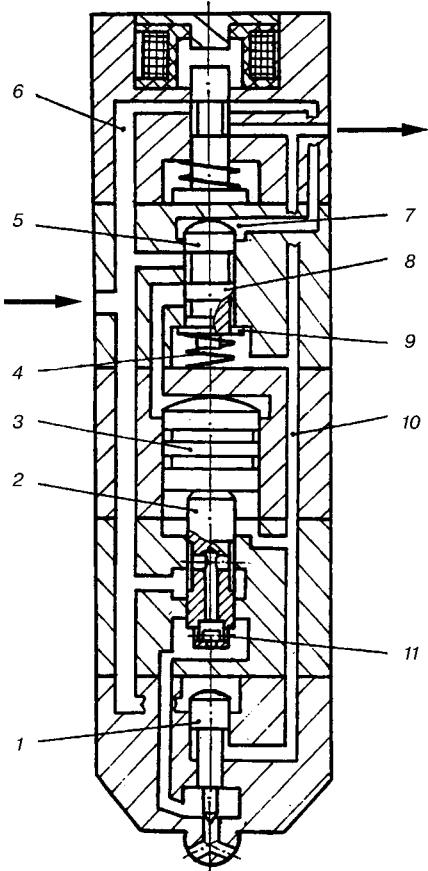


Рис. 7.10

Схема электрогидравлической насос-форсунки с гидравлическим усилением в приводе мультиплликатора:
 1 — игла форсунки; 2 — нагнетательный плунжер; 3 — приводной поршень; 4 — пружина; 5 — гидроприводной управляющий клапан-золотник; 6 — магистраль среднего давления; 7 — управляющая полость золотника; 8 — средний поясок золотника; 9 — паз золотника; 10 — магистраль среднего и низкого давления; 11 — клапан плунжера.

Собственно форсунка в представленной схеме отличается тем, что запирающая иглу сила создается не пружиной, а поршнем 1, который сообщен постоянно с магистралью 6 среднего давления, и запирающая иглу сила изменяется пропорционально давлению топлива на входе в насос-форсунку, что делает форму характеристики впрыскивания менее зависимой от давления впрыскивания.

В схеме, представленной на рис. 7.10, использован усилительный гидравлический каскад, выполненный на дополнительном клапане-золотнике с

производится микроконтроллером в насос-форсунках изменением длительности и фазы управляющих импульсов, так же как в электрогидравлических форсунках.

Возможно использование в составе электрогидравлических насос-форсунок вместо механических форсунок с пружинным запиранием электроуправляемых форсунок, но лучше выбрать электрогидравлические, что существенно расширяет возможности управления характеристикой впрыскивания электрогидравлических насос-форсунок.

Управление мультиплликатором требует существенно большего изменения расхода топлива в качестве рабочего тела в приводе, чем для подачи топлива в цилиндр. Поэтому площадь, открываемая затвором управляющего клапана в электрогидравлических насос-форсунках, при одинаковых цикловых подачах топлива должна быть в несколько раз больше, чем в электромеханических насос-форсунках или электрогидравлических форсунках. Для этого необходимо увеличивать ход или диаметры затворов управляющего клапана, что ограничено возможностями реальных электрических приводов. Вот почему во многих вариантах электрогидравлических насос-форсунок применяют дополнительные гидроприводные двухзатворные клапаны, выполняющие функцию гидравлических усилителей в приводе мультиплликаторов (рис. 7.10). Это позволяет использовать в качестве первичного управляющего относительно маломощный одно-, а лучше двухзатворный электрический клапан.

двумя управляющими кромками на пояске 8, открывающими и закрывающими каналы с проходным сечением в 5–8 раз большим, чем у электромагнитного клапана. Электромагнитный же клапан управляет давлением в управляющей полости клапана-золотника, соединяя ее в выключенном состоянии со сливом, а во включенном — с магистралью среднего давления. Возврат золотника в исходное положение осуществляется пружиной 4.

Мультиплакатор образован нагнетательным плунжером и приводным поршнем. Рабочая (управляющая) камера приводного поршня при выключенном управляющем клапане через щель под нижней кромкой пояска 8 золотника и паз 9 в нижнем пояске этого же золотника соединена со сливом. На нижний торец нагнетательного плунжера действует давление топлива, поступающее через открытый обратный клапан плунжера из магистрали среднего давления. В результате плунжер вместе с поршнем поднимается в крайнее верхнее положение (показанное на рисунке).

При подаче на электромагнит электрического управляющего импульса его якорь-золотник нижней управляющей кромкой перекрывает слив из управляющей полости дополнительного клапана-золотника, а верхней открывает подачу в эту полость топлива из магистрали среднего давления. Золотник перемещается вниз, своей нижней кромкой на пояске 8 закрывает слив из рабочей камеры приводного поршня через паз 9. Верхней кромкой пояска золотник открывает подачу топлива из магистрали среднего давления в рабочую камеру поршня, вместе с плунжером начинает движение вниз, клапан 11 плунжера закрывается и в камере под плунжером 2 создается высокое давление топлива, которое больше давления в магистрали среднего давления (на основании действительного коэффициента мультиплексии).

При достижении давлением топлива в полости под иглой соответствующего давления она поднимается и начинается впрыскивание топлива. Прекращается впрыскивание топлива после выключения электромагнитного клапана, подъема золотника, остановки и последующего движения вверх поршня и плунжера, падения давления топлива под плунжером и закрытия иглы.

Коэффициент мультиплексии, определяемый соотношением площадей поршня и плунжера, в процессе впрыскивания снижается за счет потерь давления в канале подвода топлива к поршню и трения. Достигнуть действительных значений (в установившемся впрыскивании) коэффициента мультиплексии более б затруднительно.

Двукратное последовательное усиление в гидравлическом клапане и мультиплакаторе и наличие цепочки последовательно действующих инерционных и запаздывающих звеньев в системе управления и собственно приводе создают ощущимое запаздывание в формировании характеристики впрыскивания топлива насос-форсунками. В сочетании же с ограниченными возможностями обычной гидромеханической форсунки затруднительно получить стабильную подачу топлива и управление характеристикой впрыскивания.

Несколько улучшить характеристики электрогидравлических насос-форсунок можно при применении электромеханических преобразователей с существенно увеличенным ходом и использованием в их составе электрогидравлических форсунок. Параметры электрогидравлических насос-форсунок

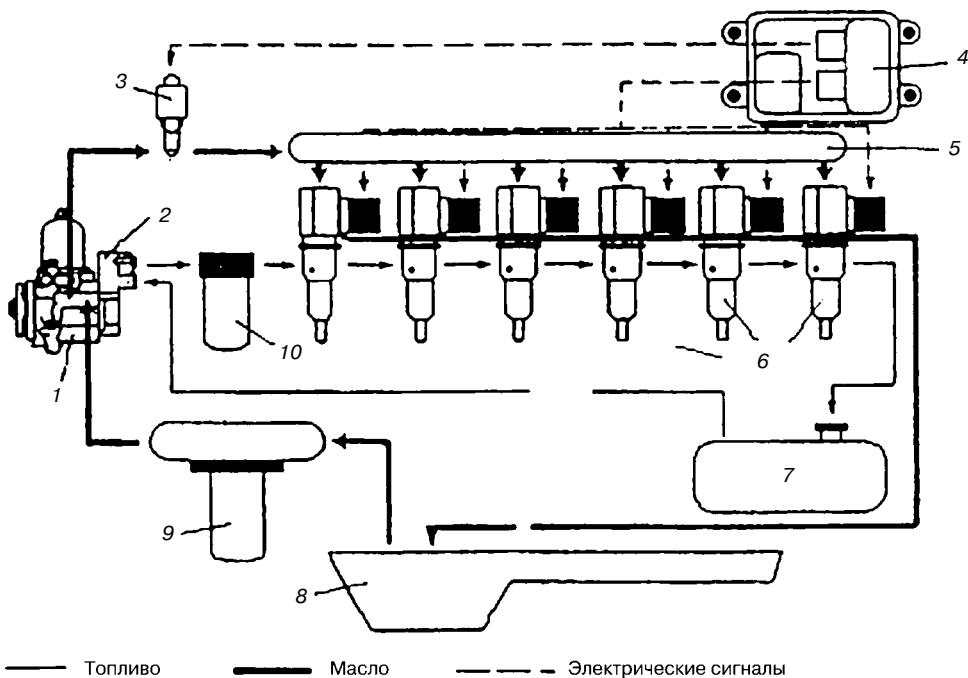


Рис. 7.11
Схема гидроприводной ЭТС HEUI:

1 — масляный насос высокого давления; 2 — топливоподкачивающий насос; 3 — исполнительный механизм регулятора давления масла; 4 — микроконтроллер; 5 — аккумулятор масла; 6 — электрогидравлический насос-форсунка; 7 — топливный бак; 8 — поддон двигателя; 9, 10 — масляный и топливный фильтры.

могут быть улучшены также совершенствованием затворов клапанов. Это позволяет реализовать электрогидравлические насос-форсунки без промежуточного усиления в управлении приводом. Такие варианты проще всего могут быть выполнены на сектороидах. Вследствие меньшего запаздывания они имеют несколько большие функциональные возможности и из-за отсутствия гидравлического усилительного клапана (уменьшения числа прецизионных элементов, утечек и габаритов) — улучшенные конструктивные показатели.

Существенные преимущества дает замена топлива маслом в качестве рабочего тела в гидроприводе мультиплексора. В частности, это позволяет использовать освоенные в массовом производстве элементы гидроавтоматики. Характерным примером такого исполнения гидроприводной ЭТС является система HEUI (Hydraulic Electronic Unit Injection), разработанная фирмой Caterpillar совместно с фирмой Navistar (рис. 7.11). Она применяется на дизелях, серийно выпускаемых не только фирмами-разработчиками, но и другими (Perkins, Isuzu).

Микроконтроллер использует информацию от не показанных на схеме датчиков. Масляный насос высокого давления объемный, аксиально-плунжерный, с 7 плунжерами. В него поступает масло под давлением около 0,3 МПа из системы двигателя. Насос создает давление, изменяемое регуля-

тором давления в диапазоне 4–23 МПа. На рис. 7.12 показаны две стадии процесса впрыскивания: завершение наполнения насос-форсунки топливом (а) и начало впрыскивания в цилиндр (б).

При выключенном электромагните управляющая камера мультиплликатора сообщена со сливом. В паузах между впрыскиваниями топливо, подаваемое топливоподкачивающим насосом, действуя на плунжер, возвращает мультиплликатор в исходное положение.

После срабатывания управляющего клапана открывается доступ масла из магистрали среднего давления на поршень мультиплликатора и закрывается слив масла из управляющей камеры. Поршень-плунжер движется вниз, создавая давление топлива, которое в 5–6 раз выше давления масла. Игла открывается и происходит впрыскивание топлива, прекращаемое выключением управляющего клапана.

К 1998 г. было выпущено более 7 млн двигателей с ЭТС HEUI. Фирма Caterpillar разработала новое поколение гидроприводных ЭТС, получивших обозначение HEUI-B, которые стали выпускать с 2000 г.

В насос-форсунках системы HEUI-B использованы один двухобмоточный электромагнит и уникальная клапанная система в управляющем модуле. Вместо конического тарельчатого затвора управляющего клапана применен двухступенчатый. Используется прецизионное гидравлическое и временнóе (фазовое) управление двумя клапанами, один из которых является вспомогательным по отношению к другому.

Электромагнит регулирует давление масла в управляющей камере не только в установленном впрыскивании, но и на этапах подъема и опускания иглы. При прямом управлении периодами подъема и опускания иглы обеспечивается управление передним и задним фронтами характеристики впрыскивания. Фирма утверждает, что никакой дополнительной модуляции движением клапанов для управления характеристикой впрыскивания не требуется.

Варианты насос-форсунок системы HEUI-B имеют производительность от 85 до 300 $\text{мм}^3/\text{с}$ при давлении впрыскивания от 160 до 175 МПа. Кроме повышения давления впрыскивания система HEUI-B обеспечивает более широкие возможности управления характеристикой впрыскивания (рис. 7.13).

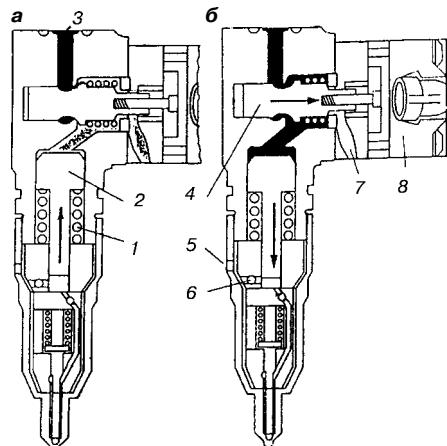


Рис. 7.12
Схема электрогидравлических насос-форсунок ЭТС HEUI:

1 — пружина мультиплликатора; 2 — поршень-плунжер; 3 — вход масла; 4 — управляющий клапан; 5 — вход топлива; 6 — обратный шариковый клапан; 7 — сливной канал; 8 — электромагнит.



Рис. 7.13
Характеристики впрыскивания топлива, создаваемые системой HEUI-B

На рисунке показаны четыре вида характеристик впрыскивания: трапециевидной, прямоугольной формы и двухфазное впрыскивание двух видов. Форма характеристики устанавливается микроконтроллером соответственно режиму работы двигателя. Сообщается, что показанная смена форм характеристики впрыскивания обеспечивает уменьшение выбросов NO_x , CH , снижает шум, а также улучшает топливную экономичность двигателя.

Прямоугольная форма с постоянным высоким давлением впрыскивания обеспечивает получение максимальных значений среднего эффективного давления. При двухфазном впрыскивании микроконтроллер устанавливает для каждой фазы продолжительность и давление впрыскивания (т. е. и величину подачи). Повышение устойчивости малых подач достигается в электрогидравлических насос-форсунках предварительным дозированием. Окончание подачи топлива осуществляется нормально закрытым затвором на плунжере при выходе его в заданное крайнее положение, а величина подачи задается временем заполнения камеры под плунжером при взведении мультиплексора в паузах между впрыскиваниями.

Время предварительного дозирования может в десятки раз превосходить длительность впрыскивания в цилиндр, позволяя повысить точность электронного дозирования при использовании электрических управляющих клапанов низкого быстродействия. Вместе с тем растут и длительность включенного состояния электромеханических преобразователей, и запаздывание управления подачей (почти до двух оборотов четырехтактного двигателя). Поэтому электрогидравлические насос-форсунки предварительного дозирования не нашли широкого применения.

В целом электрогидравлические насос-форсунки сложны конструктивно. Для их работы необходимо увеличение производительности насоса среднего давления по сравнению с подачей в цилиндр соответственно коэффициенту мультиплексации. Сброс в бак отработанного в приводе большого объема нагревшегося при сжатии топлива требует установки на автомобиль холодильника топлива. Управление формой характеристики впрыскивания ограничено. Давление впрыскивания зависит от продолжительности подачи.

Однако возможность независимого управления давлением топлива на входе в насос-форсунку, а следовательно, и давлением впрыскивания существенно расширяет функции гидроприводных ЭТС с электрогидравлическими насос-форсунками. А по возможностям повышения давления впрыскивания они пока не имеют себе равных. Гидроприводные ЭТС уступают только ЭТС с аккумуляторами высокого давления по управляемости характеристик впрыскивания. В то же время по конструктивным характеристикам они несколько превосходят аккумуляторные ЭТС.

7.1.3. АККУМУЛЯТОРНЫЕ ЭТС

В аккумуляторных топливных системах с учетом необходимости импульсного управления впрыскиванием наиболее эффективны электроуправляемые форсунки (электромеханические и электрогидравлические). Известны аккумуляторные системы низкого, среднего и высокого давления.

**АККУМУЛЯТОРНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ СИСТЕМЫ
НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ФОРСУНКАМИ
ДЛЯ ВПРЫСКИВАНИЯ БЕНЗИНА
ВО ВПУСКНЫЕ КАНАЛЫ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ**

На рис. 7.14 представлен вариант рассматриваемой аккумуляторной топливной системы фирмы Bosch.

В двигателях с распределенным впрыскиванием топлива применяют как одновременное впрыскивание топлива всеми форсунками, так и фазированное впрыскивание, когда каждая форсунка подает топливо к цилиндру в определенной фазе цикла. При одновременном впрыскивании упрощается управление форсунками, но не удается обеспечить одинаковые условия смесеобразования во всех цилиндрах. Фазированное впрыскивание обеспечивает равные условия смесеобразования во всех цилиндрах. Для обеспечения стабильности смесеобразования подачу топлива стремятся закончить к моменту начала открытия впускного клапана, что, однако, сокращает возможную продолжительность открытия форсунки. Такая организация впрыскивания требует коррекции начала подачи топлива при изменении величины цикловой подачи. Вычисление необходимого момента начала подачи проводится аналогично определению момента опережения начала впрыскивания топлива в дизелях.

В системах с центральным впрыскиванием топлива в зону над дроссельной заслонкой величина цикловой подачи топлива также определяется длительностью открытия клапана форсунки. Чтобы обеспечить равномерное распределение топлива по цилиндрам, синхронизируют впрыскивание топлива с тактами всасывания всех цилиндров.

**АККУМУЛЯТОРНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ СИСТЕМЫ
ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ**

Электронные аккумуляторные системы высокого давления для дизелей разрабатывались в России начиная с 1967 г., но серийное их производство началось за рубежом в 1998 г., где они получили английское наименование Common Rail (дословный перевод — «общая магистраль»). На рис. 7.15 представлена схема такой системы.

Управление опережением и продолжительностью впрыскивания осуществляется изменением фазы и длительности электрического импульса, подаваемого микроконтроллером. Фаза управляющих импульсов устанавливается в соответствии с сигналами датчиков положения коленчатого и распределительного валов. Один из них используется обычно и в качестве датчика

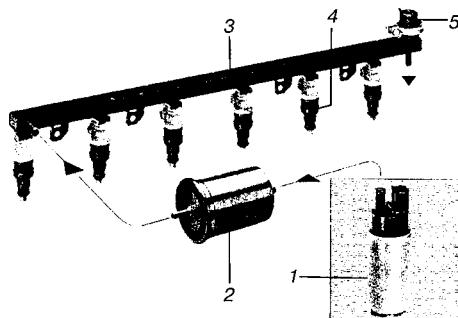


Рис. 7.14

Аккумуляторная топливная система низкого давления с электромагнитными форсунками для впрыскивания бензина во впускные каналы цилиндров двигателя:

1 — насос низкого давления; 2 — фильтр; 3 — аккумулятор; 4 — электромагнитные форсунки; 5 — исполнительный механизм регулятора давления.

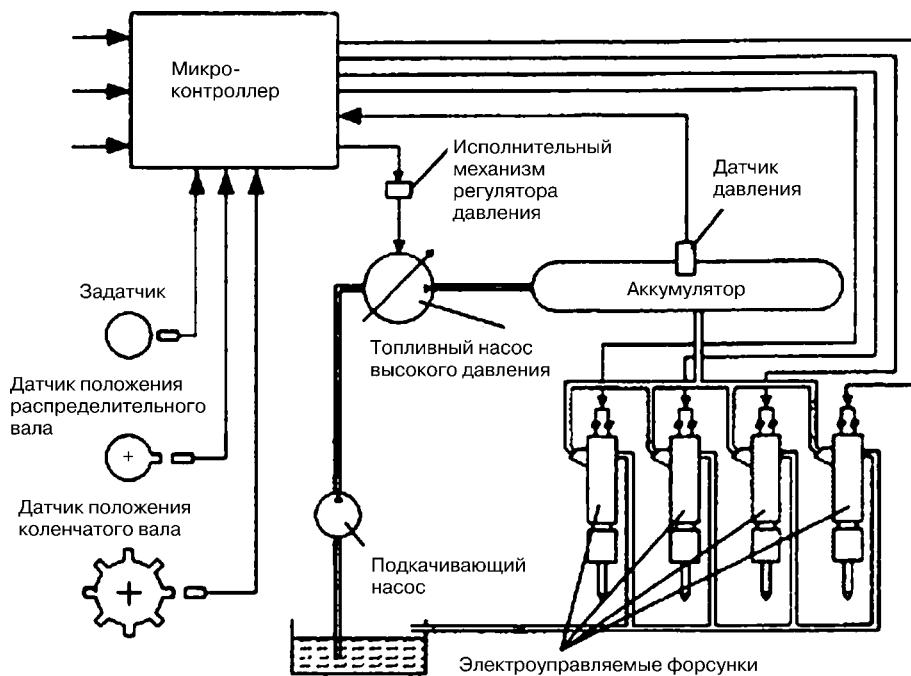


Рис. 7.15

Схема аккумуляторной топливной системы высокого давления с электроуправляемыми форсунками для впрыскивания топлива в цилиндры дизеля

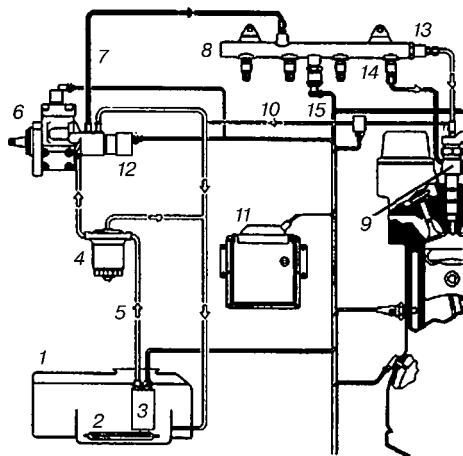


Рис. 7.16

Схема аккумуляторной топливной системы высокого давления фирмы Bosch:

- 1 — топливный бак;
- 2 — предварительный фильтр топлива;
- 3 — электроприводной топливоподкачивающий насос;
- 4 — фильтр дополнительной очистки топлива;
- 5 — топливопроводы низкого давления;
- 6 — ТНВД;
- 7 — топливопроводы высокого давления;
- 8 — аккумулятор;
- 9 — электрогидравлическая форсунка;
- 10 — сливные топливопроводы;
- 11 — микроконтроллер;
- 12 — исполнительный электромагнитный клапан регулятора давления в аккумуляторе;
- 13 — клапан-ограничитель давления в аккумуляторе;
- 14 — ограничители подачи топлива в форсунки;
- 15 — датчик давления топлива в аккумуляторе;
- 16 — датчик температуры топлива на сливе из форсунок.

частоты вращения. Оба датчика необходимы для определения тактов в очередных цилиндрах четырехтактных двигателей. Датчик положения коленчатого вала вообще нужен только для повышения точности управления опережением впрыскивания топлива. На определение положения поршня в цилиндре по положительному распределительного и тем более кулачкового вала ТНВД влияют погрешности передач от коленчатого вала.

Давление впрыскивания устанавливается непрерывным регулированием давления в аккумуляторе по сигналам датчика давления за счет изменения, например, производительности ТНВД.

Более рационально использовать в аккумуляторных системах упрощенные и надежные нерегулируемые ТНВД. Фирма Bosch для регулирования давления использует (рис. 7.16) сброс части топлива из магистрали высокого давления.

Давление в аккумуляторе адаптивно поддерживается оптимальным для каждого режима работы двигателя автоматическим регулятором, программно реализованном в микропроцессоре. Регулятор по информации, получаемой от датчика давления, поддерживает заданное давление путем сброса части топлива из магистрали высокого давления через исполнительный электромагнитный клапан, представленный на рис. 7.17

Если давление в аккумуляторе отсутствует, пружина 4 держит шариковый клапан 1 в закрытом состоянии. При определенном давлении в аккумуляторе пружина сжимается и клапан открывается. Сила включенного электромагнита закрывает затвор.

Изменение сброса топлива производится широтно-импульсной модуляцией сигнала, подаваемого на электромагнит, которая может быть дополнена частотно-импульсной (широко-импульсная модуляция — изменение относительной длительности, а частотно-импульсная — частоты). Модуляция изменяет среднее значение относительной длительности открытого положения затвора, а следовательно, и расход топлива через клапан.

Сброс топлива из магистрали высокого давления в бак вызывает дополнительные потери энергии, в частности из-за нагрева топлива в баке. Это может привести к необходимости охлаждения топлива, увеличению ТНВД и мощности его привода. Целесообразно регулирование давления в аккумуляторе осуществлять исполнительными механизмами, действующими на всасывании ТНВД, т. е. в магистрали низкого давления. Оптимально по соотношению сложности исполнения и качества управления давлением в аккумуляторе регулирование давления на всасывании ТНВД изменением частоты вращения топливоподкачивающего насоса, в особенности если он имеет электрический привод.

Наличие в аккумуляторной ЭТС большого числа деталей, постоянно находящихся под высоким давлением, объективно создает угрозу аварий при выходе их из строя. Поэтому опытные образцы отечественных аккумуляторных ЭТС снабжались комплексом аварийных защит. В его состав входили: электронная система аварийного опорожнения аккумулятора при любых

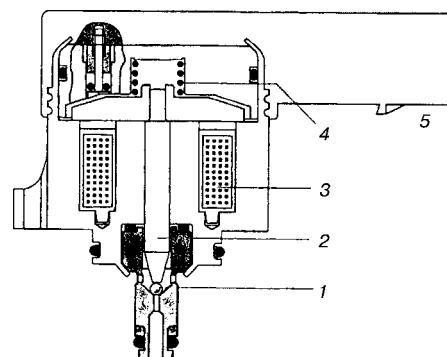


Рис. 7.17
Исполнительный электромагнитный клапан регулятора давления:

1 — шариковый клапан; 2 — толкатель тарельчатого якоря; 3 — обмотка электромагнита; 4 — пружина; 5 — штекерный разъем.

нештатных ситуациях, прежде всего при разносе двигателя, механический предохранительный клапан, автоматическое отключение части магистрали высокого давления, относящейся к отдельной форсунке, при снижении герметичности любого элемента такой части магистрали или отключение хотя бы только форсунки, в которой чрезмерно увеличился общий расход топлива на впрыскивание и управление. Автоматические отключения вышедших из строя элементов магистрали высокого давления повышают отказоустойчивость аккумуляторных ЭТС, сохраняя работоспособность ее не отключенной части. Некоторые элементы таких комплексов имеются и в составе аккумуляторных ЭТС, предназначенных для серийных двигателей.

В представленном на рис. 7.16 варианте аккумуляторной топливной системы фирмы Bosch защита от чрезмерного повышения давления топлива в магистрали высокого давления выполняется ограничительным (предохранительным) клапаном 13. Конструкция такого клапана показана на рис. 7.18.

Нижним каналом он сообщен с аккумулятором, верхним — со сливной магистралью. Значение давления, при котором клапан открывается, определяется затяжкой пружины, зависящей от положения регулировочной втулки. При открытом клапане топливо из аккумулятора сливается в бак. При уменьшении давления ниже заданного клапан под воздействием пружины закрывается и в аккумуляторе может быть восстановлено исходное давление.

Для аварийного снижения давления (предохранительный режим) такой клапан должен снабжаться защелкой, закрепляющей его в открытом положении. Подача топлива в цилиндры прекращается, двигатель останавливается и его пуск возможен только после разблокирования клапана.

Защита от потери герметичности в каналах подачи топлива в цилиндры и управления подачей форсунок из-за зависания иглы, управляющего клапана, обрыва трубопровода, раскрытия стыков и т. п. и ограничение расхода топлива при задержках закрытия иглы и управляющего клапана осуществляются ограничителями 14 (рис. 7.16), установленными на выходах из аккумулятора. Устройство одного из вариантов ограничителя расхода показано на рис. 7.19.

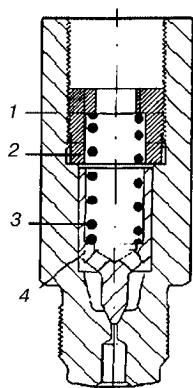


Рис. 7.18
Устройство клапана-
ограничителя
давления
в аккумуляторе:
1 — корпус; 2 — регу-
лировочная втулка; 3 —
пружина; 4 — поршень.

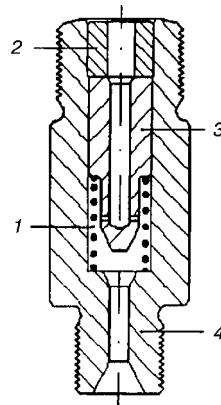


Рис. 7.19
Устройство
ограничителя расхода
топлива в цилиндры
и управления подачей:
1 — пружина; 2 — регу-
лировочная втулка; 3 —
пружина; 4 — поршень.

Верхним торцом он ввернут в корпус аккумулятора, а к нижнему присоединен топливопровод форсунки. Топливо к форсунке проходит через дросселирующие отверстия в нижней части поршня. На них создается перепад давления, который вызывает движение поршня вниз. При чрезмерном расходе или большой продолжительности расхода клапан в ограничителе полностью закрывается, возвращаясь в исходное положение только после стравливания давления в аккумуляторе, т. е. после остановки двигателя.

Возможно исполнение ограничителей расхода, автоматически возвращающихся в исходное положение после прекращения затянувшегося впрыскивания форсунки, например при ступенчатой характеристики затвора.

АККУМУЛЯТОРНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ СИСТЕМЫ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ВПРЫСКИВАНИЯ БЕНЗИНА

В бензиновых двигателях с искровым зажиганием непосредственное впрыскивание в цилиндры бензина производится при давлениях на порядок меньших, чем в дизелях. Поэтому аккумуляторные ЭТС непосредственного впрыскивания бензиновых двигателей более просты, в частности и по средствам аварийной защиты (рис. 7.20).

В этой системе давление, создаваемое ТНВД, равно 12 МПа — практически это система среднего давления. Функции показанных на рис. 7.20 элементов аналогичны выполняемым в аккумуляторных ЭТС дизелей. Микроконтроллер и его каналы связи на схеме не показаны.

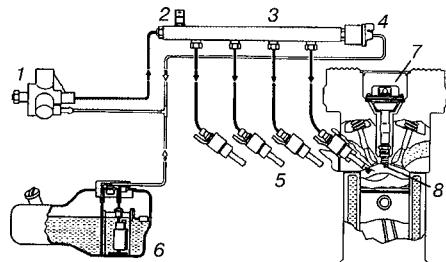
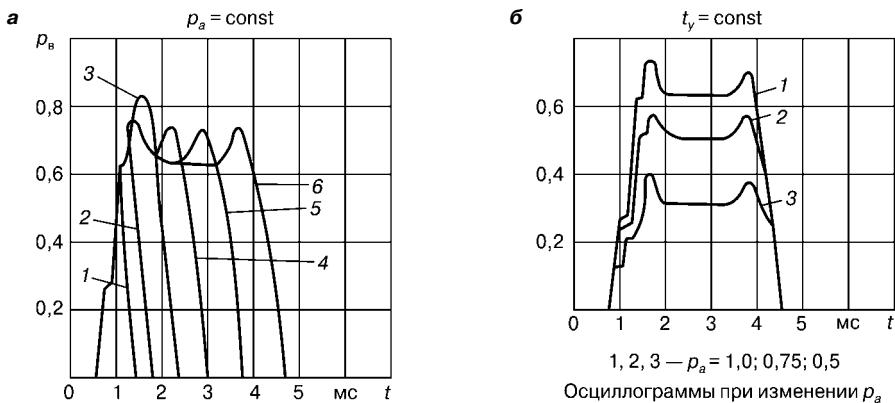


Рис. 7.20
Схема аккумуляторной ЭТС для непосредственного впрыскивания бензина Motronic MED 7:
1 — ТНВД; 2 — датчик давления; 3 — аккумулятор; 4 — предохранительный клапан; 5 — форсунки; 6 — топливный бак; 7 — катушка зажигания; 8 — свеча.

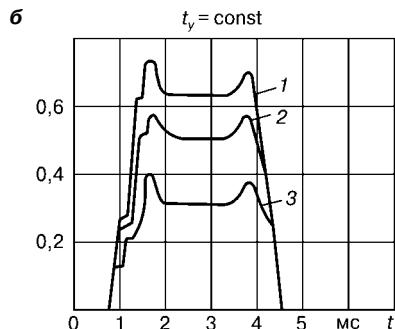
УПРАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ВПРЫСКИВАНИЯ В АККУМУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМАХ

В большинстве известных вариантов аккумуляторных систем использованы электрогидравлические форсунки. Управление продолжительностью впрыскивания в этих ЭТС осуществляется алгоритмически изменением длительности электрического управляющего импульса t_y , подаваемого микроконтроллером на электрический клапан форсунки.

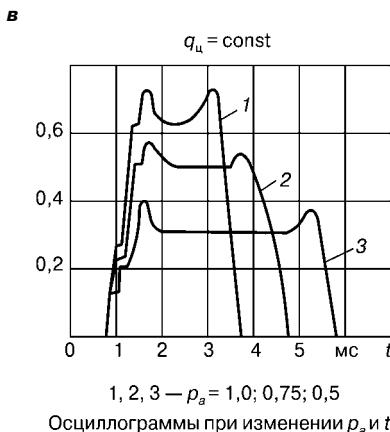
На рис. 7.21 a представлены полученные экспериментально зависимости относительного давления впрыскивания (давления перед сопловыми отверстиями распылителя) $p_b = p_b/p_a$ (p_b — давление впрыскивания, p_a — давление в аккумуляторе) от t_y при относительном давлении в аккумуляторе $p_b = \text{const} = 1$ простейшей электрогидравлической форсунки с форсированным электромагнитным приводом управляющего клапана, выполненной по схеме рис. 7.21 b .



1, 2, 3, 4, 5, 6 — $t_y = 0,4; 0,45; 0,5; 1,25; 2,0; 2,8 \text{ мс}$
Оscиллограммы при изменении t_y



Оscиллограммы при изменении p_a



Оscиллограммы при изменении p_a и t_y

Рис. 7.21
Характеристики давления впрыскивания электрогидравлических форсунок в аккумуляторной ЭТС в зависимости от:
а — длительности управляющего импульса;
б — давления в аккумуляторе; *в* — совместного их влияния.

Типичны близкая к треугольной форма характеристики впрыскивания при относительно малых длительностях электрического управляющего импульса и форма, близкая к трапеции, при больших длительностях управляющего импульса. В любом случае длительность впрыскивания пропорциональна длительности управляющего импульса (рис. 7.21*a*). С ростом давления в аккумуляторе характеристики впрыскивания увеличиваются по высоте (рис. 7.21*b*). На работающем с постоянной нагрузкой двигателе регулятор частоты вращения при изменении давления в аккумуляторе изменяет длительность управляющего импульса, подаваемого на электрический клапан (рис. 7.21*c*), поддерживая подачу топлива, необходимую для сохранения заданной частоты вращения. Цикловая подача топлива остается при этом постоянной.

Отклонения создаются только за счет изменения эффективности сгорания топлива от изменения давления впрыскивания, и форма характеристики впрыскивания радикально изменяется. Таким образом, изменение давления в аккумуляторе является основным средством управления характеристикой впрыскивания в аккумуляторных ЭТС.

Форма импульсов впрыскивания может дополнительно изменяться алгоритмически модуляцией электрических управляющих импульсов. На рис. 7.22 a показан электрический управляющий импульс, представляющий собой пакет, состоящий из четырех типовых импульсов.

Каждый из этих четырех типовых импульсов содержит в качестве составляющих форссирующие, размагничивающие, а третий и четвертый — еще и удерживающие импульсы. Необходимый средний уровень составляющих определяется широтно-импульсной модуляцией. Между третьим и четвертым имеется пауза.

Микроконтроллер способен целенаправленно модулировать число типовых импульсов в пакете, длительность составляющих каждого из них и пауз между ними.

На рис. 7.22 b показаны осциллограммы давления впрыскивания, полученные при сдвоенном управляющем импульсе. Выбором длительности первого импульса устанавливались заданные длительность и амплитуда давления предварительной фазы впрыскивания 1. Длительность второго импульса определяла продолжительность второй (основной) фазы впрыскивания 2. Варьируя продолжительность паузы перед вторым импульсом, можно регулировать паузу между предварительной и основной фазами впрыскивания, вплоть до получения непрерывного ступенчатого впрыскивания 3.

Характеристики 1–3 на рис. 7.22 c получены увеличением длительности первого импульса от 0,3 до 0,5 мс соответственно при постоянной длительности паузы между импульсами и одинаковой общей длительности впрыскивания.

На рис. 7.22 c показаны возможности управления передним фронтом характеристики впрыскивания пакетом из импульсов с нарастающей амплитудой. Импульсным управлением достигнуто изменение крутизны переднего фронта характеристики впрыскивания в 6 раз.

Импульсному управлению доступны любые участки характеристики впрыскивания. В частности, можно разбивать впрыскивание на отдельные дозы (до 8) для улучшения смесеобразования и сгорания на некоторых режимах работы двигателя.

Форсунки на пьезоактуаторах, обеспечивающие большее быстродействие и пропорциональность привода, позволяют шире управлять характеристикой впрыскивания.

Импульсное управление параметрами впрыскивания топлива в выходном элементе аккумуляторной топливной системы — электроуправляемых форсунках — обеспечивает наибольшую эффективность. Аккумуляторные топливные системы обладают наибольшими же функциональными возможностями. По конструктивным же характеристикам они уступают некоторым другим системам. Основной недостаток аккумуляторных топливных систем — возможность снижения гидроплотности стыков в магистралях высокого давления, что затрудняет повышение давления впрыскивания. Необходимо повышение давления впрыскивания топлива в перспективных моделях двигателей до 250–300 МПа, пока же в аккумуляторных системах достигнуто давление 180 МПа, это сдерживает широкое применение

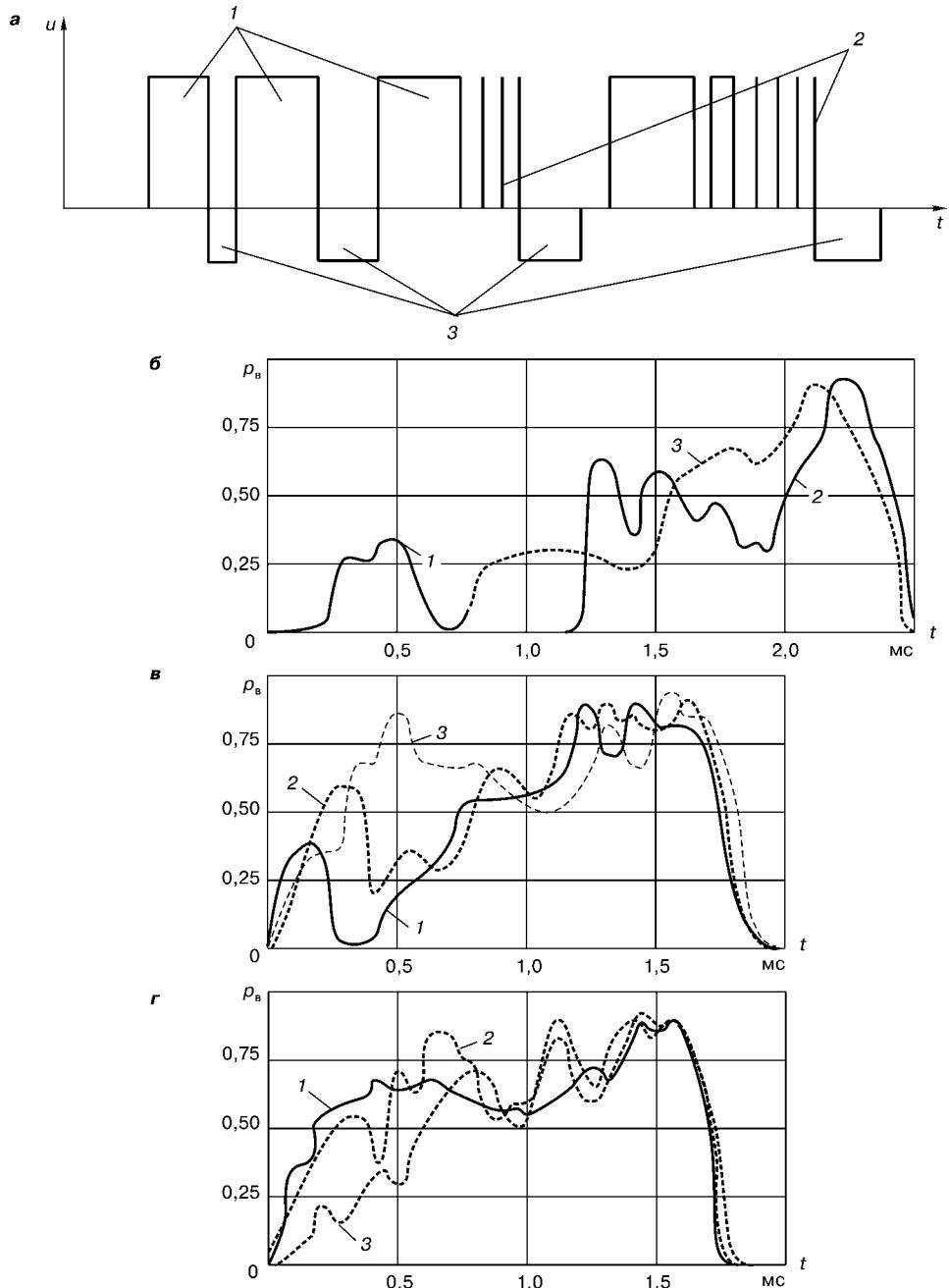


Рис. 7.22
Электроимпульсное управление характеристикой
давления впрыскивания в аккумуляторной ЭТС:

a — вид пакета управляющих импульсов; 1 — импульсы форсирующие; 2 — удерживающие; 3 — размагничивающие; *б*, *в*, *г* — характеристики впрыскивания (1, 2, 3 — варианты при различных сочетаниях числа, длительности импульсов и пауз в пакете).

аккумуляторных топливных систем. Однако зарубежные двигателестроительные фирмы с 1998 г. имеют в своей номенклатуре модели двигателей с аккумуляторными ЭТС, поскольку те обеспечивают удовлетворение экологических требований не только Евро-3, но и Евро-4 и Евро-5. Интенсивно ведутся разработки и исследования этих ЭТС и для российских двигателей.

7.1.4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭТС

Все ЭТС с импульсным управлением практически равнозначны по:

- регулируемости продолжительности, опережения впрыскивания, числа работающих цилиндров, равномерности нагрузки работающих цилиндров, ограничения подачи топлива в функции параметров рабочего процесса двигателя, вредных выбросов и экономичности;
- сохранению работоспособности двигателя при смене марки топлива;
- минимизации устойчивой частоты вращения холостого хода двигателя;
- повышению качества регулирования частоты вращения.

Аккумуляторные ЭТС имеют решающие преимущества по не зависимому от продолжительности и опережения управлению давлением и характеристикой впрыскивания, т. е. в итоге — по оптимизации рабочего процесса двигателя.

В ЭТС с гидравлическим приводом нагнетательных плунжеров вследствие большого запаздывания в управлении и высокого давления под плунжером давление впрыскивания зависит от продолжительности подачи, имеются также ограничения в управлении числом фаз и формой фронтов характеристики впрыскивания.

В ЭТС с механическим и гидравлическим приводами давление и форма характеристики впрыскивания зависят не только от длительности, но и от опережения впрыскивания.

В ЭТС с пневматическим приводом и с непрерывно управляемыми ТНВД независимое регулирование давления топлива требует существенного усложнения агрегатов. Вообще непрерывное электронное управление ТНВД не создает дополнительных возможностей воздействия на рабочий процесс двигателя. Единственное его преимущество — возможность реализации без изменений конструкции собственно двигателя.

Из ЭТС с импульсным управлением наиболее просто адаптируются в автомобильных двигателях аккумуляторные. Их установка на двигатель не требует изменения других его систем.

ЭТС с пневматическим приводом предпочтительны по объему системы высокого давления и полной автономности каналов впрыскивания отдельных цилиндров двигателя (отсутствию общих для системы элементов), что делает их наиболее надежными.

ЭТС с гидравлическим приводом уступают всем другим по числу прецизионных элементов, имеют более низкое рабочее давление на управляющих клапанах и минимальную длительность работы при высоком давлении.

Преимущества ЭТС с импульсным управлением и механическим приводом — подготовленность производства, отработанность конструкций основных

элементов и высокая степень унификации для различных типоразмеров двигателей, что и предопределило их широкое внедрение в серийное производство. Важна и возможность организации на их основе резервной гидромеханической системы регулирования частоты вращения, сохраняющей работоспособность двигателя при любых отказах электроники. Они наиболее эффективны при реализации их в насос-форсунках или в столбиковых ТНВД.

Для отечественных автомобильных двигателей с МПСУ по простоте адаптации, экологическим показателям и расходу топлива более предпочтительны аккумуляторные ЭТС.

В реализации принципиально новых конструктивных схем двигателей, прежде всего безバルвальных (например, для гибридных электромобилей), целесообразно применение ЭТС с пневматическим приводом.

Отличительные признаки и сравнительные оценки различных вариантов ЭТС приведены в табл. 7.1.

Включенные в таблицу оценки свойств вариантов ЭТС неравноценны, значимость в каждом варианте двигателя, автомобиля и условий их эксплуа-

Таблица 7.1

**Классификационные признаки и основные отличия ЭТС
с непосредственным впрыскиванием топлива**

Основные квалификационные признаки	Наименование ЭТС				
	непрерывного управления	аккумуляторные	пневмо-приводные	гидроприводные	механо-приводные
Управляемые элементы	ТНВД	Форсунки и магистраль высокого давления	Форсунки	ТНВД и магистраль среднего давления	Магистрали высокого давления
Характер управления	Непрерывный	Импульсный — форсунками, и непрерывный — давлением	Импульсный	Непрерывный — давлением, и импульсный — остальными параметрами	Импульсный
Независимо управляемы:					
Давление	—	+	—	+	—
Опережение	+	+	+	+	+
Форма характеристики	—	+	+	—	—
Индивидуальность уравнения по цилиндрам	—	+	+	+	+
Простота конструкции	+	+	+	—	+
Простота адаптации на двигатель	+	+	—	—	—
Отказоустойчивость	—	—	+	—	+

тации различна. Но из таблицы можно заключить, что для аккумуляторных ЭТС целесообразно развитие в направлении повышения отказоустойчивости, для механоприводных — управляемости давлением и характеристикой впрыскивания, для гидроприводных — управляемости характеристикой впрыскивания, и для пневмоприводных — управляемости давлением впрыскивания. Наиболее эффективным представляется развитие аккумуляторных ЭТС, электромеханических, электрогидравлических и электропневматических насос-форсунок.

7.2. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ГАЗООБМЕНА

Микропроцессорное управление параметрами газообмена не менее важно для оптимизации показателей двигателя, чем управление параметрами топливоподачи, и получило широкое распространение. Воздействуя на процесс газообмена, можно:

- управлять мощностью двигателя;
- повысить предельные значения мощности двигателя;
- улучшить экономические и экологические показатели двигателя;
- повысить эффективность торможения автомобиля.

Наиболее часто для автоматизации управления мощностью в двигателях с искровым зажиганием используют дроссельные заслонки с электромеханическим или электропневматическим приводом. Управлять мощностью двигателей можно также, меняя величину хода впускных клапанов или отключая наполнение (и подачу топлива) в отдельных цилиндрах. Последние два способа позволяют одновременно улучшить экономические, а иногда и экологические показатели двигателя.

Эффективным способом повышения мощности двигателей является использование наддува. Повысить предельные мощностные показатели двигателя и воздействовать на формирование его скоростных характеристик возможно, управляя фазами газораспределения, законами подъема клапанов и газодинамическими процессами во впускных и выпускных трубопроводах. Все эти способы находят применение в современных автомобилях.

В двигателях с искровым зажиганием для направленного воздействия на процесс сгорания управляют интенсивностью и направлением вихревого движения заряда, возникающего в процессе впуска. Это управление осуществляют с помощью поворотных заслонок, которые размещают в каналах перед впускными клапанами. Воздействовать на интенсивность движения с зарядом в цилиндре можно, управляя подъемом впускных клапанов. Дросселирование свежего заряда изменением подъема клапанов также позволяет снизить потери на газообмен и, следовательно, дополнительно повысить топливную экономичность двигателя. Для уменьшения токсичных выбросов, прежде всего оксидов азота, как в дизелях, так и в двигателях с искровым зажиганием используют рециркуляцию отработанных газов, т. е. добавку определенного их количества к свежему заряду.

Улучшить тормозные качества автомобиля можно, увеличивая сопротивление выпуску отработанных газов с помощью дроссельной заслонки, установленной в выпускной системе, или изменения подъем выпускного клапана.

Рассмотрим более подробно некоторые системы для управления газообменом.

7.2.1. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ НАДДУВА

Система турбонаддува решающим образом влияет на характеристики двигателей, в особенности высокофорсированных. Улучшение наполнения цилиндров при турбонаддуве ограничено инерционностью и низкой эффективностью турбокомпрессоров на низких частотах вращения двигателей. Повышение эффективности турбокомпрессора на низких частотах вращения за счет изменения конструкции и улучшения его параметров неизбежно приводит к излишнему давлению наддува при полной мощности, чреватому появлением помпажа. Поэтому для преодоления недостатков неуправляемых систем наддува в последнее время все шире стали применяться управляемые системы.

В системах с приводными объемными нагнетателями типа «Рут» применяют управление через муфту в приводе, включаемую при достижении частоты вращения, с которой эффективность нагнетателя становится достаточно высокой. Это релейное, в наиболее рациональном варианте — электронное управление.

Управление турбокомпрессором поворотом лопаток турбины на частотах ее вращения порядка $70\,000\text{ мин}^{-1}$ никому еще не удалось сделать широко применимым.

Известны несколько вариантов управления турбокомпрессором:

- изменение геометрии неподвижного соплового аппарата турбины (или проходного сечения на входе в турбину), например, за счет поворота направляющих лопаток или перемещения неподвижного кольца вдоль направляющих лопаток;
- передача избыточной мощности турбины при больших нагрузках двигателя на коленчатый вал (так называемые комбинированные двигатели);
- наличие двух турбин, одна из которых приводит компрессор, а другая — если необходимо, может соединиться с коленчатым валом. Но все эти системы управляемого наддува очень сложны и малонадежны.

Более просты системы управления за счет перепуска газов мимо турбины, где использован исполнительный электропневматический клапан, состоящий из электромагнитного управляющего клапана и пневматического мембранный привода с тарельчатым клапаном в обходном канале турбины. Электромагнитный клапан сообщает рабочую камеру пневмопривода либо с атмосферой, либо с разрежением, создаваемым вакуумным электронасосом. Если электропневматический клапан закрывает обходной канал, то все газы идут через турбину и их энергия максимально используется для наддува двигателя. По мере открытия клапана все большая часть отработанных газов проходит мимо турбины. Частота вращения турбокомпрессора, а сле-

довательно, и давление наддувочного воздуха, создаваемое турбокомпрессором, зависят от положения перепускного клапана.

Очевидно, что для исключения излишнего давления наддува и опасности помпажа на режимах больших нагрузок двигателя энергия отработанных газов, перепущенных через обходной канал турбины, полностью теряется. Растет при этом и температура газов на выходе из двигателя — существенный недостаток перепускных электронных систем управления турбокомпрессорами.

Появились сообщения о применении в высокофорсированных двигателях более рациональной системы управления турбокомпрессором за счет использования непосредственно в турбокомпрессоре встроенной электрической машины. Удобно называть такой агрегат электротурбокомпрессором (рис. 7.23).

Новая система турбонаддува в простейшем варианте использует встроенную в турбокомпрессор электрическую машину (чаще всего переменного тока) в качестве электромотора, питаемого для управления частотой вращения от инвертора, создающего переменный электрический ток регулируемых частоты и напряжения. Инвертор питается от генератора, связанного непосредственно с коленчатым валом двигателя, и/или от аккумуляторной батареи автомобиля.

В процессах пуска, разгона, на холостых ходах и малых нагрузках электромотор, создавая дополнительный крутящий момент на валу турбокомпрессора,

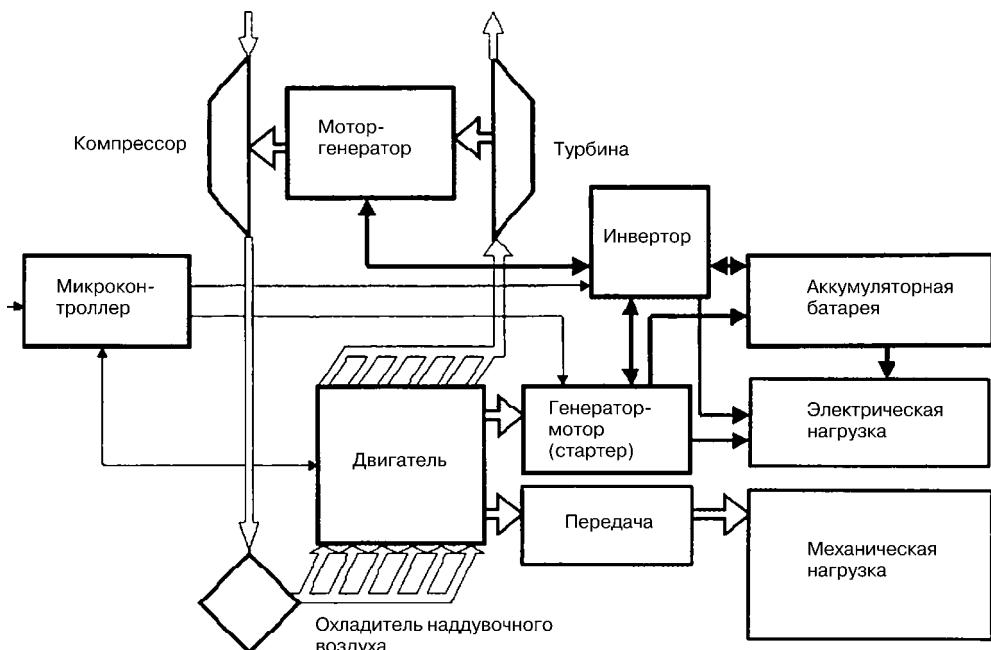


Рис. 7.23

Схема электронной системы наддува двигателя с электротурбокомпрессором:
сдвоенные утолщенные линии — связи механические; сдвоенные тонкие — газовые; одиночные утолщенные — электрические; одиночные тонкие — информационные.

разгоняет его до достижения оптимального по расходу топлива двигателем давления наддува. На режимах максимальной мощности дополнительный крутящий момент от электромотора не требуется и он может быть отключен от электрической сети (вместе с инвертором).

Очевидно, что для использования такого варианта электротурбокомпрессора необходимо, чтобы генератор двигателя имел мощность, достаточную для работы электромотора. При этом следует учитывать, что максимальная мощность от электромотора нужна кратковременно на переходных режимах. Она может быть получена от генератора и аккумуляторной батареи, включаемых параллельно. Кроме того, в результате дополнительного электропривода повышается давление наддува и расход воздуха двигателем соответственно и мощность, развиваемая турбиной. Поэтому необходимая добавка электрической мощности составляет только около половины от требуемой для желаемой раскрутки ротора турбокомпрессора. Длительно необходимая мощность мотора составляет 0,9–1,5 % от мощности двигателя. Соответственно на эту величину требуется увеличить и мощность генератора (или установить на двигатель дополнительный генератор).

Описанный вариант применения электротурбокомпрессора предусматривает выбор его параметров из условий достижения оптимального давления наддува при полной нагрузке двигателя, т. е. при неполном использовании энергии отработанных газов. Более рационален вариант, когда на всех режимах работы двигателя максимально используется эта энергия. Для этого электромотор турбокомпрессора должен быть обратимым и при больших нагрузках двигателя, когда мощность турбины больше необходимой для создания оптимального давления наддува переводится в режим генератора. Этот генератор через обращенный инвертор передает электрическую энергию обращенному в мотор генератору двигателя, имеющему механическую связь валов. Микроконтроллер, регулируя мощность, отбираемую обращенным генератором турбокомпрессора и передаваемую в сеть автомобиля, аккумуляторную батарею и сверх этого через обращенный в мотор генератор двигателя — на вал двигателя, снижает частоту вращения турбокомпрессора до уровня, обеспечивающего оптимальный наддув.

Заметим, что такая система турбонаддува свидетельствует в пользу создания объединенной электрической машины двигателя, совмещающей функции стартера, генератора и мотора. Это может позволить усовершенствовать конструкцию двигателя и электрическую систему автомобиля.

Для двигателей транспортных средств с электрическими передачами, включая гибридные электромобили, еще более целесообразен обратимый электромотор турбокомпрессора. Избыточная мощность турбины, превышающая необходимую для обеспечения оптимального давления наддува, может непосредственно добавляться к мощности главного генератора, приводимого двигателем.

Эффективность системы наддува с электротурбокомпрессором определяется превышением роста мощности двигателя в результате увеличения индикаторного КПД при оптимизации наддува над затратами энергии на дополнительный электропривод компрессора. Отбираемая от генератора тур-

бины электрическая мощность, безусловно, улучшает это соотношение, но главное в новой системе наддува — снижение расхода топлива двигателем на всех режимах его работы.

Для двигателей карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности при использовании только двигательного режима «мотор — генератор» снижение удельного расхода топлива по сравнению с нерегулируемым свободным турбокомпрессором составило 1,5–5,7 г/кВт·ч. При использовании как двигательного, так и генераторного режима «мотор — генератора» — 2,5–7,3 г/кВт·ч. Снижение среднеэксплуатационного расхода топлива — соответственно 3,2 и 5 г/кВт·ч. Время выхода двигателя с холостого хода на номинальную частоту вращения и полную мощность при использовании мотор-генератора в турбокомпрессоре сокращается на 30–35% .

7.2.2. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ВПУСКНЫХ И ВЫПУСКНЫХ КАНАЛОВ

На наполнение цилиндров заметное влияние оказывают гидравлическое сопротивление системы впуска и происходящие в ней газодинамические процессы. Каждому режиму работы двигателя соответствует своя, оптимальная по величине наполнения геометрия впускного тракта.

Существует два способа использования волновых процессов во впускной и выпускной системах для повышения наполнения — волновая и резонансная настройка.

При волновой настройке для повышения наполнения необходимо, чтобы перед закрытием впускного клапана к нему подошла отраженная волна давления. Тогда в цилиндре повышается давление и увеличивается масса заряда. Для улучшения очистки цилиндра от продуктов сгорания требуется, чтобы перед закрытием выпускного клапана к нему подошла волна разряжения. Время прихода волн зависит от длин впускных и выпускных каналов. Для управления длиной впускного канала можно подключать к системе по-очередно с помощью заслонок каналы различной длины или использовать в системе подвижные элементы, увеличивающие длину канала.

Резонансная настройка достигается изменением частоты собственных колебаний рабочего тела во впускной и/или в выпускной системе. При возникновении резонанса амплитуда волн давления увеличивается и растет эффект от волновой настройки. Собственная частота колебаний газа в системе зависит от массы газа, поэтому для резонансной настройки к системе подключают дополнительные объемы. При данном объеме системы резонансные колебания возникают только при определенных частотах вращения двигателя. Для сохранения настройки в широком диапазоне частот необходимо управлять объемом системы.

Управляют геометрией впускной и выпускной систем исполнительные устройства с электромеханическим, электромагнитным или электропневматическим приводом.

Электронные системы управления рециркуляцией отработанных газов широко применяются на двигателях легковых автомобилей и легких грузовиков.

В настоящее время началось применение электронных систем рециркуляции и на двигателях тяжелых грузовиков. Количество рециркулируемых газов, перепускаемых из выпускной системы во впускную, должно дозироваться в зависимости от режима работы, а на ряде режимов рециркуляция должна отключаться. Управление рециркуляцией производится программно. В качестве управляющих устройств применяют клапаны с пропорциональной или релейной характеристикой. Для привода клапанов обычно используют электропневматические устройства или шаговые двигатели.

Для более точного управления в клапанах с пропорциональной характеристикой и электропневматическим приводом используют замкнутое регулирование с обратной связью по сигналу датчика перемещения клапана.

7.2.3. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Очевидна целесообразность управления фазами открытия и ходом клапанов для оптимизации работы двигателя. Управление фазами газораспределения позволяет, например, для автомобильных двигателей улучшить протекание характеристики крутящего момента, существенно расширив диапазон с максимальным его значением.

Один из вариантов изменения фаз — пропорциональный исполнительный механизм, изменяющий угловое положение распределительного вала. Особенno это удобно на двигателях, где впускные и выпускные клапаны приводятся разными распределительными валами. Тогда управление может осуществляться как отдельно по каждому валу, так и одновременно. Такие системы получили достаточно широкое распространение.

Возможно также использование пространственных кулачков сложного профиля, позволяющих изменять не только фазы газораспределения, но и высоту подъема клапанов.

Электронное управление газораспределением за счет изменения углового расположения распределительного вала или смены профиля работающего участка кулачков может быть осуществлено только одинаково усредненно для всех цилиндров.

Предложено большое число сложных кинематических схем с электромеханическим или электрогидравлическим приводом, обеспечивающих управление высотой подъема клапанов за счет изменения передаточного отношения в коромыслах привода клапанов. Их исполнительные механизмы громоздки и энергоемки. Вот почему такие схемы пока не нашли широкого применения и используются главным образом в упрощенном варианте в системах дезактивации клапанов.

Наиболее гибкое управление газораспределением возможно при применении индивидуального гидравлического или электромагнитного привода клапанов. Тогда можно отказаться от использования распределительных валов в приводе клапанов.

При гидравлическом приводе клапанов для управления в гидравлической системе используются электромагнитные клапаны, аналогичные клапанам в системах топливоподачи.

Гидравлический привод клапанов и описанные выше электромагнитные клапаны газораспределения позволяют обеспечить индивидуальную оптимизацию продолжительности фаз и перемещения каждого клапана в любое время, на любом режиме работы двигателя вплоть до полного отключения отдельных цилиндров (циклов) и быстрый перевод двигателя в тормозной режим.

Фирма Aura Systems утверждает, что с электромагнитными клапанами EVA достигается существенное улучшение рабочих циклов. При использовании любых топлив (бензина, дизельного, природного газа, этанола, метанола или спирта) топливная экономичность двигателя улучшается на 15% за счет оптимизации сгорания во всем диапазоне частот, снижения насосных потерь и потерь на трение. За счет отключения отдельных цилиндров экономичность дополнительно увеличивается на 16%. Утверждается также, что с EVA повышаются мощность, крутящий момент, надежность, снижаются уровень вредных выбросов, габариты и стоимость двигателя.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ГАЗООБМЕНА

Для МПСУ каналами газообмена характерна громоздкость исполнительных механизмов. Необходимо учитывать и ограниченные возможности улучшения показателей при таком управлении (за исключением эффектов от управления вихревым движением заряда и рециркуляцией). Поэтому решающим фактором при создании МПСУ в каналах газообмена должно быть соотношение достигаемого эффекта со сложностью, габаритами, стоимостью исполнительных механизмов, усложнением агрегатов, в которых они устанавливаются, и неизбежным снижением надежности двигателя из-за возможных их отказов.

Управление газораспределительным механизмом создает большие возможности для совершенствования двигателей, однако еще идет поиск оптимального конструктивного варианта таких систем и методов управления ими. Об этом свидетельствует большое число принципиально разных решений.

7.3. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ НА ДВИГАТЕЛЯХ

Схема двигателя с элементами наиболее характерных электронных систем представлена на рис. 7.24.

Схема демонстрирует состав и связи микроконтроллера двигателя с аккумуляторной ЭТС, электромагнитным приводом клапанов газораспределения, электронными системами рециркуляции отработанных газов, наддува с перепуском газов в турбокомпрессоре и свечами накаливания. Характерно отсутствие распределительного вала и датчика его положения, которые принципиально не требуются ни для работы электрогидравлических форсунок и электромагнитных клапанов газораспределения, ни для управления ими.

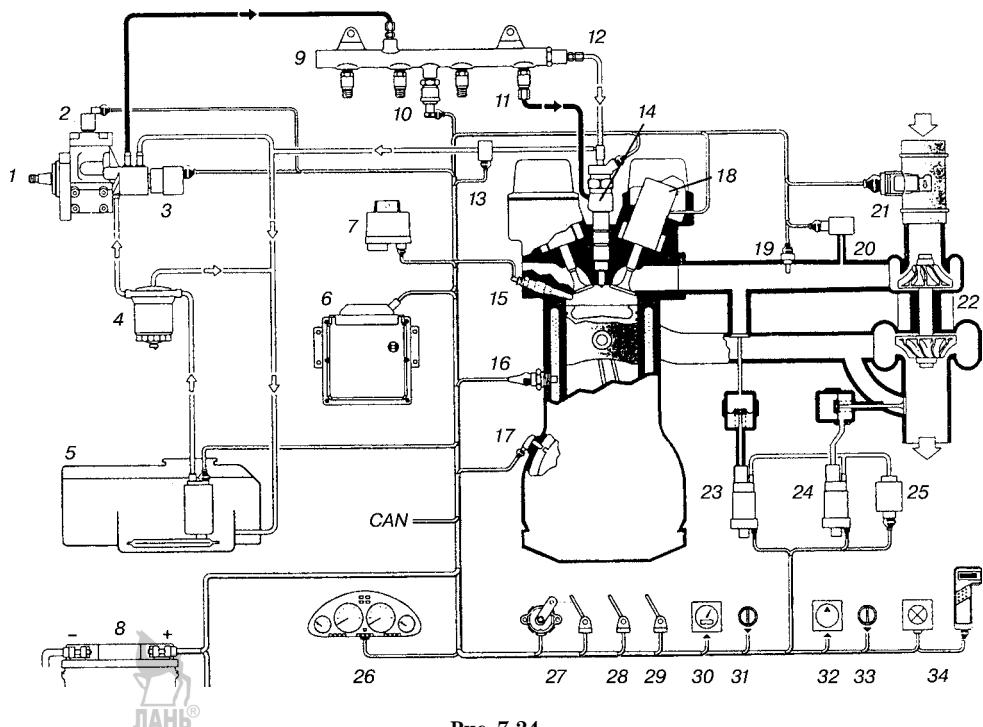


Рис. 7.24
Схема двигателя с комплексом электронных систем:

1 — ТНВД; 2 — электромагнитный клапан аварийного выключения подачи топлива; 3 — исполнительный электромагнитный клапан регулятора давления топлива в аккумуляторе; 4 — топливный фильтр; 5 — топливный бак с фильтром и топливоподкачивающим электронасосом; 6 — микроконтроллер; 7 — блок управления свечей накаливания; 8 — аккумуляторная батарея; 9 — аккумулятор топлива; 10 — датчик давления топлива в аккумуляторе; 11 — ограничитель расхода топлива электрогидравлической форсункой; 12 — ограничитель давления топлива в аккумуляторе; 13 — датчик температуры топлива; 14 — электрогидравлическая форсунка; 15 — свеча накаливания; 16 — датчик температуры охлаждающей жидкости; 17 — датчик положения коленчатого вала (частоты вращения); 18 — электромагнитный привод клапана газораспределения; 19 — датчик температуры воздуха на всасывании; 20 — датчик давления наддува; 21 — датчик массового расхода воздуха; 22 — турбокомпрессор; 23 — электропневматический клапан системы управления рециркуляцией отработавших газов; 24 — электропневматический клапан системы регулирования наддува; 25 — вакуумный электронасос; 26 — щиток приборов; 27 — непрерывный и контактный датчики положения педали управления; 28 — контактный датчик положения педали тормоза; 29 — контактный датчик положения педали сцепления; 30 — датчик скорости автомобиля; 31 — задатчик регулятора скорости автомобиля; 32 — компрессор кондиционера; 33 — задатчик регулятора кондиционера; 34 — индикатор системы диагностирования с контактным разъемом для подключения диагностического прибора. CAN — линия связи с мультиплексной системой автомобиля. Сплошными утолщенными линиями обозначены топливоволноводы высокого давления; сдвоенными тонкими — топливопроводы низкого давления; сдвоенными линиями разной толщины — электрические кабели.

Порядок смены тактов в цилиндрах двигателя устанавливает микроконтроллер на основании заданного порядка чередования работы цилиндров и действительных исходного при пуске и текущих положений коленчатого вала.

Представленный на схеме пример двигателя нельзя считать максимально возможным по составу электронных систем — он может быть более широким.

8

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И АЛГОРИТМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ

8.1. ЭЛЕКТРОННЫЕ УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ ДВИГАТЕЛЕЙ

Одним из важнейших направлений развития автомобильных систем управления является увеличение комплексности систем. При этом наблюдаются две тенденции.

1. Интеграция микропроцессорной системы управления двигателя в общую сеть бортовых микроконтроллеров автомобиля, управляющих трансмиссией, системами защиты и безопасности, навигации, круиз-контроля и др. Завершается такая сеть центральным бортовым компьютером. Он предназначен не только для общего контроля работы отдельных элементов сети, но и, главным образом, для внешнего информационного обслуживания водителя и пассажиров, включая современные коммуникационные системы связи с домом, банком и офисом, возможность выхода в Интернет, использование мультимедиа и т. д.

2. Создание внешних комплексов управления двигателями в процессе отладки и эксплуатации. Такие комплексы создаются в основном применительно к двигателям специальных автомобилей фирмами-изготовителями и в крупных эксплуатирующих фирмах.

Микропроцессорное управление каждым отдельным двигателем осуществляется несколькими управляющими системами разного уровня и разного функционального назначения, образующими связанный комплекс (см. рис. 8.1).

Непременным элементом электронного управляющего комплекса является **бортовой микроконтроллер**, сопряженный с двигателем, совместно с ним эксплуатирующийся и зачастую установленный непосредственно на нем. Возможно выполнение БМК непосредственно в составе центрального микроконтроллера автомобиля.

Все управляющие системы электронного комплекса взаимодействуют с двигателем именно через БМК. Аппаратное

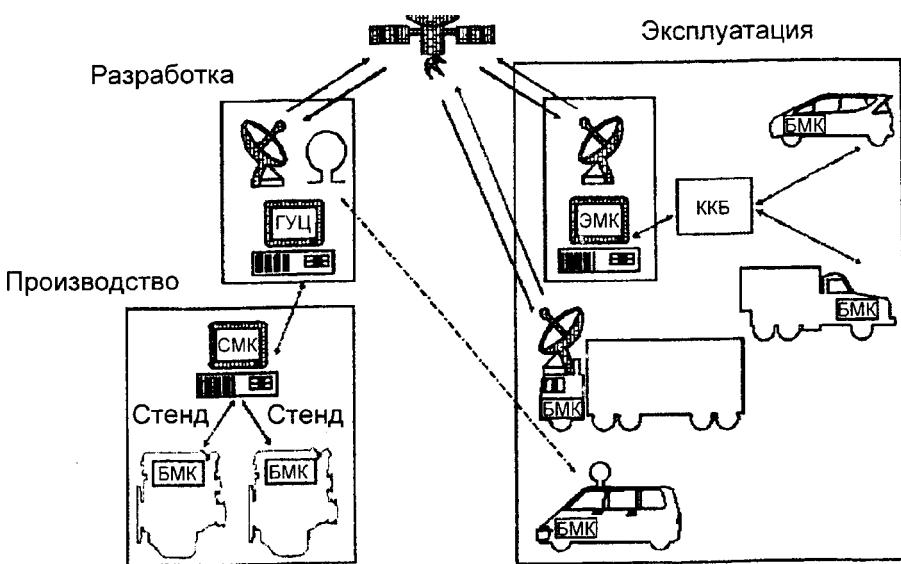


Рис. 8.1

Схема электронного управляемого комплекса автомобильных двигателей:

ГУЦ — главный стационарный управляемый центр разработчика; СМК — стационарный стендо-вый отладочный микроконтроллер; БМК — бортовой микроконтроллер; ККБ — контрольно-корректирующий блок; ЭМК — микроконтроллер эксплуатирующего предприятия.

обеспечение (набор модулей) БМК собирают параллельно с изготовлением и сборкой двигателя, и он поступает на заводской стенд вместе с персональным БМК.

Бортовой микроконтроллер получает исходные версии алгоритмов управления (математического обеспечения), обеспечивающие пуск и совместную отладку двигателя и БМК на стенде. По окончании отладки БМК получает свою индивидуальную версию математического обеспечения для эксплуатации в комплекте со своим двигателем. В дальнейшем перестановка микроконтроллера с одного двигателя на другой без коррекции математического обеспечения недопустима.

БМК выполняет все алгоритмы регулирования, имеет необходимый минимум программных, поисковых и аналитических алгоритмов оптимального адаптивно-робастного управления, уточняет по результатам выполненного им поиска информацию, параметры программ. Он обычно выполняет также и диагностирование двигателя и своих узлов, реализует алгоритмы обеспечения надежности, предупредительной сигнализации и аварийной защиты двигателя, накапливает диагностическую и рабочую информацию о выявленных дефектах, проведенных им операциях по устранению или уменьшению их влияния на качество работы двигателя. Кроме того, микроконтроллер накапливает информацию о режимах работы двигателя, расходе топлива и обо всех нарушениях в эксплуатации, допущенных обслуживающим персоналом, в том числе и водителем, инструкций и предписаний изготавителей двигателя и автомобиля, а также эксплуатирующего предприятия.

На некоторых автомобилях часть этой информации наряду с информацией о работе других систем автомобиля поступает и в «черный ящик», аналогичный применяемому в авиации.

Стационарный стендовый отладочный микроконтроллер обладает более широким спектром поисковых и аналитических адаптивных алгоритмов. Он подключается к БМК для регулировки, отладки и сдачи двигателя после изготовления или капитального ремонта, а также введения в БМК исходного, а после отладки — и рабочих вариантов математического обеспечения. СМК вводит в БМК еще на стадии сборки двигателя всю получаемую от главного стационарного управляющего центра разработчика (или изготовителя) исходную информацию, необходимую для начала его работы с данным двигателем.

СМК выполняет вместе с БМК полный объем поисковой адаптации для обеспечения отладки, испытаний, сдачи двигателя и уточнения исходных рабочих версий алгоритмов и программ управления БМК двигателя в эксплуатации.

Изготовитель двигателей для исключения или сведения к минимуму последствий неумелого обращения может вводить для изготовителей и эксплуатационников автомобилей кодовые запреты на любые несанкционированные им корректизы математического обеспечения БМК. Например, ограничения подачи топлива, вводимые в рабочие программы изготовителем двигателя и учитывающие условия эксплуатации, оговоренные при заказе двигателя. По некоторым ограничениям, как, впрочем, и по некоторым параметрам алгоритмов управления, допускается последующая коррекция только в сторону ужесточения ограничений.

На заводском стенде выбираются конкретные для данного двигателя параметры математического обеспечения его БМК, с которыми двигатель и БМК передаются на завод-изготовитель автомобиля. На этом собственно отладка микроконтроллера двигателя заканчивается.

В главном стационарном управляющем центре разработчика имеются обобщенные исходные варианты математического обеспечения БМК для каждого типоразмера двигателя. ГУЦ разрабатывает прежде всего исходную стендовую версию математического обеспечения. Он учитывает назначение, условия работы, эксплуатационные и сертификационные данные выбранной заказчиком модификации двигателя, заданные функции управления и необходимые параметры математического обеспечения. Через СМК эти данные вводятся в качестве исходных в БМК.

ГУЦ через различные системы связи периодически подключается к БМК непосредственно или через промежуточные управляющие структурные звенья не только при отладке и сдаче двигателя, но и при его эксплуатации.

Второй круг функций ГУЦ начинается с накопления в запоминающем устройстве (в файлах, отмеченных серийными номерами двигателя и БМК) отработанных СМК окончательных рабочих версий математического обеспечения, а также сведений об истории создания двигателя, информации об исходных его характеристиках. Запоминается информация о математическом обеспечении каждого образца БМК двигателя, ушедшего с заводского

стенда. Впоследствии ГУЦ сопоставляет ее с информацией, собранной БМК непосредственно при эксплуатации и периодически поступающей в него для определения и внесения необходимых изменений в математическое обеспечение.

Результаты эксплуатации конкретных образцов двигателей анализируются, обобщаются и сопоставляются с новыми разработками. ГУЦ вносит корректизы в рабочие алгоритмы и программы адаптивного управления как каждого конкретного, так и всех других эксплуатируемых однотипных двигателей, а также и в исходные версии программного обеспечения БМК вновь изготавливаемых и проектируемых двигателей. Они необходимы для реализации новых функций, характеристик и версий управления БМК. Это наиболее рационально без изменения аппаратной части БМК.

В электронном управляющем комплексе имеются и промежуточные управляющие структурные звенья (отсутствующие на рис. 8.1) — это управляющие центры изготовителей автомобилей. Изготовитель автомобиля может внести, в пределах разрешенного, дополнительные корректизы в математическое обеспечение БМК, учитывающие специфику работы двигателя на данном типе автомобиля. Чаще всего ограничивают частоту вращения двигателя по допустимой скорости автомобиля, соответствующей особенностям конкретного места эксплуатации. При этом могут быть использованы и общие рекомендации, и математическое обеспечение изготовителей двигателей. Такая индивидуальная коррекция ограничения частоты вращения позволяет изготовителям автомобилей и эксплуатирующими организациям без дополнительных затрат осуществлять оптимальное ограничение скорости движения по дорогам для повышения безопасности и надежности.

Более многочисленную группу промежуточных звеньев электронного управляющего комплекса составляют **микроконтроллеры эксплуатирующих предприятий** — региональных сервисных, а также транспортных компаний. Они накапливают в своем запоминающем устройстве (в файлах, отмеченных серийными номерами двигателя и БМК) информацию, полученную непосредственно от БМК через различные системы связи или через периодически подключаемый переносной контрольно-корректируочный блок.

ЭМК обобщает и передает в ГУЦ информацию о результатах эксплуатации двигателей, проводит при необходимости собственный их анализ, определяет целесообразность дополнительной коррекции, учитывающей особенности эксплуатации, например ограничение частоты вращения и подачи топлива, обеспечивающие увеличение срока службы, производительности, снижение вредных выбросов или расхода топлива. Эта коррекция осуществляется обычно через ККБ.

Контрольно-корректируочный блок использует для периодической проверки и корректировки математического обеспечения накопленную в БМК в процессе эксплуатации двигателя следующую диагностическую информацию: действительные характеристики и параметры двигателя, режимы работы, нарушения, допущенные персоналом, имевшие место отказы и процедуры, проведенные БМК, т. е. информацию по изменениям математического обеспечения, которые были выполнены автоматически.

ККБ выполняет при необходимости более полное диагностирование БМК и двигателя, дополнительные алгоритмы поисковой адаптации для коррекции математического обеспечения локальных систем и программной адаптации. ККБ обычно применяется для обслуживания группы совместно эксплуатируемых двигателей.

ККБ чаще всего выполняют в виде компьютера-ноутбука. Но в последнее время появились бесконтактные считывающие устройства, обеспечивающие автоматическое подключение БМК к ЭМК или ГУЦ при проезде автомобиля вблизи него. Эти устройства могут быть установлены в любых точках дорожной сети, например, на территории транспортного предприятия или у магистралей, по которым возможен проезд контролируемых автомобилей. Такие бесконтактные считывающие устройства снимают информацию, накопленную БМК, и передают в него информацию, подготовленную ГУЦ именно для этого автомобиля. Очевидно, что информация о необходимых действиях по обслуживанию передается не только водителю на видеоконтрольное устройство автомобиля, но и на ЭМК или собственнику автомобиля.

Для обмена информацией между БМК, ЭМК и ГУЦ обычно используют телекоммуникационные системы, например, спутниковой космической связи. По ним передается в ГУЦ информация о состоянии каждого из обслуживаемых двигателей, а из него — необходимые индивидуальные корректиры математического обеспечения БМК конкретных двигателей.

Как правило, управляющие комплексы двигателей входят в управляющие комплексы автомобилей. При этом в качестве ГУЦ может выступать и сервис-центр производителя автомобилей. На тяжелых грузовиках и междугородных автобусах, выпускаемых многими фирмами, применяют именно такие объединенные системы коммуникации и контроля, называемые Fleet Board, Fleet management или Dynafleet. Связь автомобиля непосредственно с сервис-центром осуществляется через Интернет. Система Fleet Board фирмы Mercedes Benz содержит в качестве элементов сотовую связь стандарта GSM с передачей текстовых сообщений SMS, навигационную систему GPS и «черный ящик».

Появление даже на легковых автомобилях спутниковых навигационных и охранных систем, сотовых телефонов и других видов связи позволяет организовать непосредственное подключение БМК к ЭМК или даже к ГУЦ. При этом вся интеллектуальная часть обслуживания: анализ накопленной информации, необходимое или желательное перепрограммирование БМК и выработка рекомендаций пользователю двигателя о целесообразном перечне технического обслуживания — производится ЭМК или ГУЦ и реализуется через БМК с выводом информации водителю на общий дисплей автомобиля.

В результате применения электронных управляющих комплексов эксплуатация двигателей, с одной стороны, стала проще, с другой — более высокого качества и совершенней, что достигается в итоге интеллектом цифрового управления ГУЦ. Несколько упрощенный вариант подобного электронного управляющего комплекса двигателей карьерных автосамосвалов большой и особо большой грузоподъемности более 10 лет действует в компании Detroit Diesel.

По оценкам компаний, его использование оказалось эффективным при работе с достаточно крупными эксплуатирующими предприятиями, имеющими специально подготовленный квалифицированный персонал, коммуникационные системы, а в лучшем случае и средства предварительной обработки ЭМК информации с ККБ. Управляющие комплексы создали и успешно применяют фирмы Volvo, Cammins, Scania и др.

Для мелких и тем более индивидуальных пользователей автомобилей включение в электронный управляющий комплекс создает серьезные квалификационные и психологические трудности. Главным препятствием радикального решения этой проблемы является неподготовленность эксплуатационников и собственников автомобилей. Их переобучение и перевоспитание стало одним из важнейших направлений деятельности двигателестроительных фирм. В то же время в составе управляющих комплексов степень автоматизации адаптивных БМК двигателей становится столь высокой, что позволит водителю, в том числе и непрофессиональному, эксплуатировать любой автомобиль без специальной подготовки.

Можно ожидать, что ведущие автомобилестроительные фирмы в целях повышения качества и надежности автомобилей создадут в ближайшем будущем электронные управляющие комплексы и для легковых автомобилей.

8.2. СХЕМА АДАПТИВНОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Можно выделить две основные задачи управления любого варианта МПСУ двигателем автомобиля:

- обеспечение в любой момент времени мощности двигателя, необходимой для движения автомобиля с заданной скоростью и ускорением, или готовности двигателя к такому движению автомобиля, т. е. управление нагрузочно-скоростным режимом работы двигателя;
- обеспечение на всех режимах работы двигателя желаемых значений показателей, определяющих качество работы двигателя, таких как топливная экономичность, уровень выбросов вредных веществ, уровень шума и др.

Первая задача в той или иной мере определяется водителем, хотя и ее решение может быть автоматизировано в МПСУ. Вторая целиком решается МПСУ; кроме того, необходимо, чтобы она осуществляла согласованное адаптивное управление всеми параметрами с оптимизацией их качества и с учетом взаимодействия со всеми системами управления других агрегатов силовой установки и автомобиля.

Для решения всего этого комплекса задач целесообразна иерархическая структура МПСУ, нижний уровень которой составляют локальные системы управления (регулирования) отдельными параметрами двигателя. Локальная система включает один из программных блоков микроконтроллера и в качестве объекта управления — один из каналов двигателя.

На рис. 8.2 представлена более характерная для дизелей схема иерархической адаптивной МПСУ двигателя с автоматическим регулированием частоты вращения (набор регулируемых параметров сокращен).

Здесь система автоматического регулирования частоты вращения представлена регулятором частоты вращения с выходным сигналом u_q и каналом

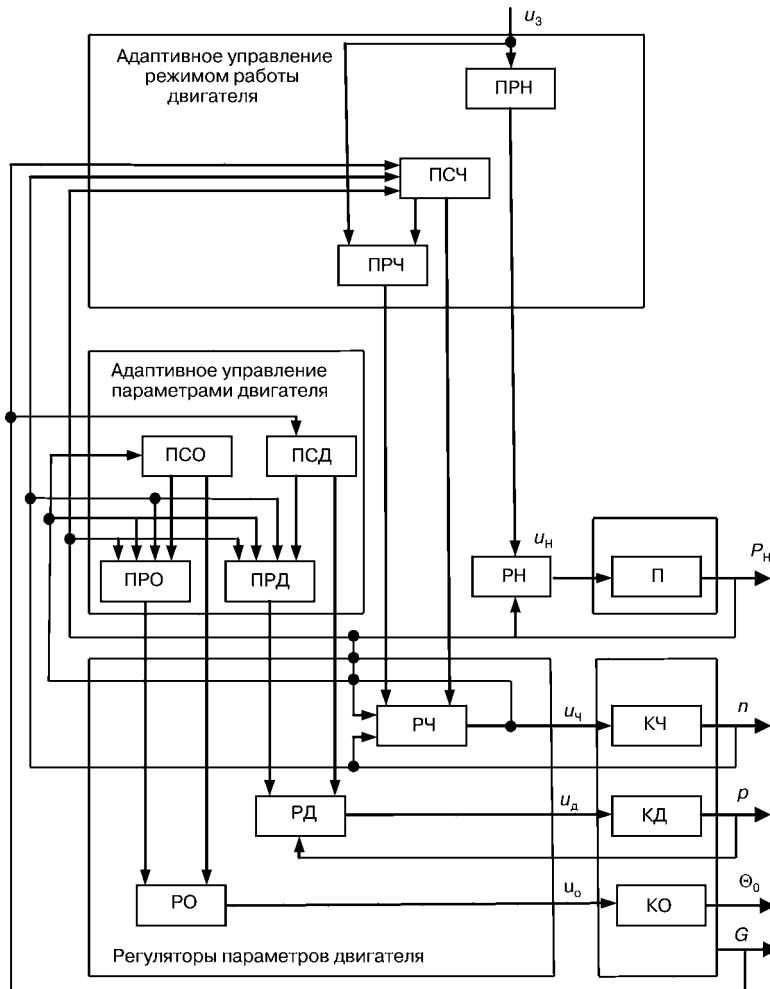


Рис. 8.2
Упрощенная схема иерархической адаптивной МПСУ двигателя
с автоматическим регулированием частоты вращения:

Программаторы: ПРН — нагрузки; ПРЧ — частоты вращения; ПРО — опережения; ПРД — давления. Поисковые системы: ПСЧ — частоты вращения; ПСО — опережения; ПСД — давления. Регуляторы: РН — нагрузки; РЧ — частоты вращения; РД — давления; РО — опережения впрыскивания; П — электрическая передача на колеса. Каналы двигателя: КЧ — частоты вращения; КД — давления; КО — опережения. Входной сигнал МПСУ (от водителя): u_3 — положение педали управления. Управляющие воздействия микроконтроллера: u_n — нагрузкой; u_q — частотой вращения; u_d — давлением; u_o — опережением. Управляемые параметры двигателя: P_H — нагрузка на двигатель (через электрическую передачу); n — частота вращения; p — давление воздуха (или топлива); θ_0 — угол опережения впрыскивания; G — расход топлива.

формирования частоты вращения двигателя, выход которого — частота вращения двигателя n . Все остальные системы автоматического регулирования на этом рисунке по отношению к системе регулирования частоты вращения можно считать дополнительными или вторичными.

На схеме представлены в качестве примеров только две характерные дополнительные системы — замкнутая и разомкнутая. Первая — система регулирования давления наддува или аналогичная ей по структуре система регулирования давления топлива. Она образована регулятором давления и каналом двигателя, преобразующим электрический выходной сигнал регулятора давления u_d в давление воздуха (или топлива) p . В качестве примера второй на схеме показана система регулирования опережения впрыскивания топлива θ_o , образованная регулятором опережения с выходным сигналом u_o и каналом двигателя. Система эта разомкнутая, так как в ней нет неконтролируемых возмущений.

Рассмотренная часть системы управления (совокупность локальных систем управления параметрами) обеспечивает работу двигателя с заданной точностью поддержания его параметров в установленныхся режимах и необходимое — или даже оптимальное по длительности и максимальному отклонению — качество переходных процессов регулирования параметров двигателя, прежде всего по частоте вращения.

Система автоматического регулирования частоты вращения не только важнейшая, но и наиболее совершенная по точности и быстродействию локальная система МПСУ двигателя. Она играет исключительную роль в адаптивном управлении, так как вырабатываемые ею управляющие воздействия — выходной сигнал регулятора и его производные — используются на всех уровнях и во всех видах адаптации.

Канал формирования частоты вращения начинается в двигателе с топливной системы, которая преобразует выходной управляющий сигнал частоты u_q в цикловую подачу топлива. В КЧ последовательно входят также тепловое звено, преобразующее подачу топлива в крутящий момент, и механическое звено двигателя, преобразующее разность крутящего момента и момента сопротивления в изменение частоты вращения.

Система автоматического регулирования частоты вращения замкнутая, действующая по отклонению, т. е. по разности заданной и действительной частот вращения, подаваемых на РЧ. По отклонению частоты соответственно алгоритму управления РЧ формирует u_q и до тех пор изменяет этот сигнал, пока установленная им подача топлива в двигатель не приблизит с заданной точностью необходимую и действительную частоты вращения двигателя. Такое регулирование обеспечивает высокую точность установления и поддержания частоты вращения, так как снижает до допустимого уровня отклонение, вызванное любым возмущением.

Очевидно, что в замкнутой системе изменения u_q — это реакция РЧ на любые поступившие в систему возмущения. Данный сигнал наиболее информативен, так как точно и быстро выражает происходящие в МПСУ процессы. Поскольку подача топлива в цилиндры пропорциональна u_q , то ему же пропорционален и крутящий момент двигателя. Конечно, численное зна-

чение коэффициента пропорциональности зависит от параметров топлива, воздушного заряда, эффективности сгорания, частоты вращения и др., следовательно, он непостоянен. Но в первом приближении, особенно при достаточной стабильности указанных факторов, u_q отражает мгновенные значения крутящего момента и мощности двигателя. С другой стороны, будучи эквивалентен расходу топлива (наиболее общему критерию оптимальности), он может оперативно использоваться в качестве критерия для реализации оптимального управления, адаптации, как, впрочем, и для других задач. А как носитель информации о крутящем моменте, мощности и расходе топлива, u_q исключает необходимость установки на двигатель датчиков этих параметров, кстати, достаточно сложных и дорогих.

В цифровых регуляторах частоты вращения выходной сигнал, действительная частота и ее отклонения действуют в них непосредственно и представляются численно в коде, принятом в микроконтроллере. Это упрощает использование данных сигналов во всех каналах управления, контроля и диагностирования двигателя.

Адаптивная оптимизация по расходу топлива в режимах, определяемых достигнутой частотой вращения и приложенной нагрузкой, производится по схеме на рис. 8.2 адаптивным управляющим устройством, для которого объект управления — совокупность локальных систем управления параметрами. Адаптивное устройство представляет собой второй уровень в структуре управляющей системы, выполняя согласованное адаптивное управление всеми управляемыми параметрами двигателя. Реализуется оно так же, как и регуляторы локальных систем в микроконтроллере, и состоит из программаторов и поисковых систем. В программаторах выполняется и необходимый объем аналитической адаптации. Они вырабатывают задания регуляторам параметров двигателя и осуществляют программную адаптацию; задания каждому из регуляторов формируются по индивидуальным программам в функции действительной частоты вращения, приложенной к двигателю нагрузки, других контролируемых параметров двигателя и среды, а также выходных сигналов регуляторов прочих локальных систем. На рис. 8.2 программаторы включены в ПРД и в ПРО.

Поисковые системы представлены в каналах управления давлением и опережением, действуя преимущественно в установленныхся режимах. Принципиально поисковые процедуры возможны и в переходных процессах, однако это связано с необходимостью повышения точности и быстродействия аппаратных и программных средств. Поэтому целесообразность их реализации требует в каждом случае специального анализа.

Поисковые системы определяют изменения заданий регуляторам параметров двигателя, необходимые для более точной, чем при программной адаптации, оптимизации режима. Поиск осуществляется путем пробных изменений заданий соответствующим регулятором и оценкой расхода топлива, вызванного этими изменениями.

Чтобы оценить влияние параметров, не влияющих на цикловую подачу, достаточно изменений выходного сигнала регулятора частоты при устранении отклонений частоты вращения, вызванных пробным сигналом.



Примером такого регулируемого параметра служит опережение впрыскивания топлива.

Для выбора параметров, изменяющих цикловую подачу топлива, поисковой системе в общем случае нужно контролировать непосредственно расход топлива. К их числу относится форма характеристики впрыскивания. Пример такого параметра — давление топлива (давление воздуха заведомо не относится к таким параметрам). В качестве критерия оптимальности по давлению топлива на схеме использован общий (часовой) расход топлива двигателем.

В ряде случаев в поисковом устройстве можно использовать однозначность зависимости цикловой подачи от давления топлива в аккумуляторе и ограничиться оценкой качества по выходному сигналу регулятора частоты с учетом влияния давления топлива. При жестком программном управлении основными параметрами двигателя выходной сигнал регулятора частоты достаточно четко с ними связан. Поэтому в первом приближении он также может быть использован для поисковой адаптации по любым параметрам.

По завершении поиска и вывода двигателя в точку минимума расхода адаптивная система по полученным ею данным уточняет алгоритмы программной и аналитической адаптации (содержание таблиц или коэффициентов аналитических зависимостей). Это позволяет повышать точность оптимизации при программной адаптации в зависимости от реальных характеристик конкретного образца двигателя и условий его работы.

Совокупность программаторов и поисковых систем управления параметрами двигателя образует основной (первый) уровень адаптивного управления.

Наряду с оптимизацией совокупности параметров двигателя в каждом режиме существует задача выбора оптимального режима работы двигателя. Такая задача решается на втором уровне адаптивного управления.

Для адаптивного управляющего устройства, оптимизирующего режим работы двигателя, объектом управления является адаптивная система управления параметрами двигателя. Простейшим примером адаптивного управляющего устройства второго уровня может служить программатор в системе управления частотой вращения двигателя, устанавливающий оптимальную временную программу изменения задания частоты вращения, которая учитывает при пуске двигателя его исходное состояние и запас энергии в пусковом источнике.

На рис. 8.2 также показана система регулирования электрической передачи (Π), устанавливающая нагрузку двигателя P_n . Она содержит регулятор нагрузки (РН) с выходным сигналом u_n . Адаптивное устройство второго уровня включает кроме программатора частоты программатор нагрузки и поисковую систему управления частотой вращения. Задача этого уровня адаптации — выбор сочетания скоростного и мощностного режимов, при котором достигается минимальный удельный расход топлива двигателем. Для определения удельного расхода адаптивному поисковому устройству кроме информации о расходе топлива нужна информация и о нагрузке двигателя. В такой системе управления информация от педали водителя в виде сигнала u_3 поступает параллельно на входы программаторов нагрузки и частоты.

В результате по оптимальным временным программам двигатель выводится в окрестности режима, оптимального по удельному расходу топлива. Затем поисковое адаптивное устройство управления частотой вращения при неизменной мощности, передаваемой для движения автомобиля, устанавливает частоту вращения двигателя, при которой обеспечивается минимальный удельный расход топлива. Полученные данные могут быть использованы и для уточнения программы программатора частоты.



Для достижения высокого качества переходных процессов в комплексной МПСУ целесообразно применение воздействия по скоростям и ускорениям (первым и вторым производным) сигналов, прежде всего поступающих от регулятора частоты. Например, алгоритмы программной адаптации устанавливающихся и переходных процессов существенно отличаются. Для оптимизации переходных процессов эффективны корректирующие воздействия по производным. Вычисление производных сигналов, органически присутствующих в микроконтроллере, наиболее рационально.

Выделение в качестве ведущей оптимизированной по быстродействию и точности системы регулирования частоты вращения двигателя и максимальное использование выходного сигнала регулятора частоты вращения и его составляющих на всех уровнях и во всех видах адаптации обеспечивают наибольшую возможную эффективность адаптивного управления.

Алгоритмы робастно-адаптивного регулирования частоты вращения двигателя, числа работающих цилиндров двигателя, программно-поискового регулирования опережения впрыскивания топлива, адаптивного совместного регулирования частоты вращения и мощности двигателя, адаптивного регулирования распределения нагрузки между работающими цилиндрами, ограничения подачи топлива оптимизированы по числу необходимых для их реализации датчиков. Они также обеспечивают активное диагностирование и повышение надежности двигателя.

8.3. СХЕМЫ И АЛГОРИТМЫ ПРОГРАММНО-АДАПТИВНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ МПСУ

8.3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ



Программаторы обеспечивают оптимизацию переходных процессов и выход в окрестности оптимальных настроек в установленных режимах.

Программы могут быть заданы в виде таблиц (матриц), или аналитически возможна комбинация таблицы с аналитической интерполяцией промежуточных значений. Во всяком случае, исходными данными для первонаучальных вариантов программ должны быть результаты предварительных расчетов или экспериментальных исследований конкретного образца двигателя или любого образца того же типа либо прототипа. Исходные программы могут корректироваться по результатам испытаний конкретного двигателя после его изготовления в комплекте с СМК.

При матричном программном управлении дополнительно появляется задача оптимизации числа ячеек матрицы путем компромисса между объемом памяти, быстродействием и точностью оптимизации. Матричная форма позволяет при накоплении по результатам поисковой адаптации некоторого объема откорректированных значений провести коррекцию содержания ячеек, соответствующих промежуточным режимам и режимам, где невозможны поисковые процедуры. Это выполняется по формулам аналогично аналитическому заданию программы. Собственно в коррекции прежде всего и состоит аналитическая адаптация в управлении двигателями.

Оптимальная комбинация матричной и аналитической форм задания программ адаптации.

Для большинства дизелей с непосредственным впрыскиванием топлива характерно с ростом нагрузки монотонное увеличение оптимальных значений опережения и давления впрыскивания. Для каждой частоты вращения при оптимальных опережении и давлении впрыскивания выходной сигнал регулятора частоты аналогично связан с нагрузкой. Поэтому оптимальные значения опережения и давления впрыскивания, выдаваемые программаторами в качестве заданий локальным системам управления, однозначно связаны с частотой вращения и выходным сигналом регулятора частоты. Эти зависимости являются основными и в первом приближении достаточными для программ адаптации. Аналогичный характер имеют функциональные зависимости заданий и ряда других параметров от частоты и выходного сигнала регулятора частоты.

Более полная, чем на рис. 8.2, обобщенная схема системы программного управления двигателя, обеспечивающая адаптацию в функции частоты вращения и выходного сигнала регулятора частоты, показана на рис. 8.3.

Основной контур схемы — система управления частотой вращения, включающая регулятор частоты и двигатель. Входной сигнал системы $u_{3\phi}$ характеризует заданную частоту вращения n_3 . Он поступает от задатчика режима работы двигателя, в простейшем случае — от датчика положения педали управления. Выходной сигнал — действительная частота вращения n .

Для двигателя здесь показаны только электронная аккумуляторная топливная система и электронная система газообмена. Термомеханическая часть является совокупностью теплового и механического звеньев.

По действующим в системе управления частотой выходным сигналам элементов u_q и u_{dc} , если потребуется, в микроконтроллере могут быть вычислены производные этих сигналов.

ФАРЧ по отклонению частоты, определяемому как $u_{3\phi} - u_{dc}$, соответственно заданному алгоритму вычисляет u_ϕ . Алгоритм регулирования выбирается из условий скорейшего и с минимальными колебаниями уменьшения отклонения до допустимого уровня ограничителя и с целью исключить недопустимые подачи топлива выделяет из u_ϕ часть u_q , не превышающую уровень, устанавливаемый по анализу информации от других систем управления. ФРИ в соответствии с u_q формирует пакет управляющего импульса (длительности импульсов и пауз между ними) и распределяет их в заданном порядке по форсункам, которые создают нужные подачи топлива в цилиндры.

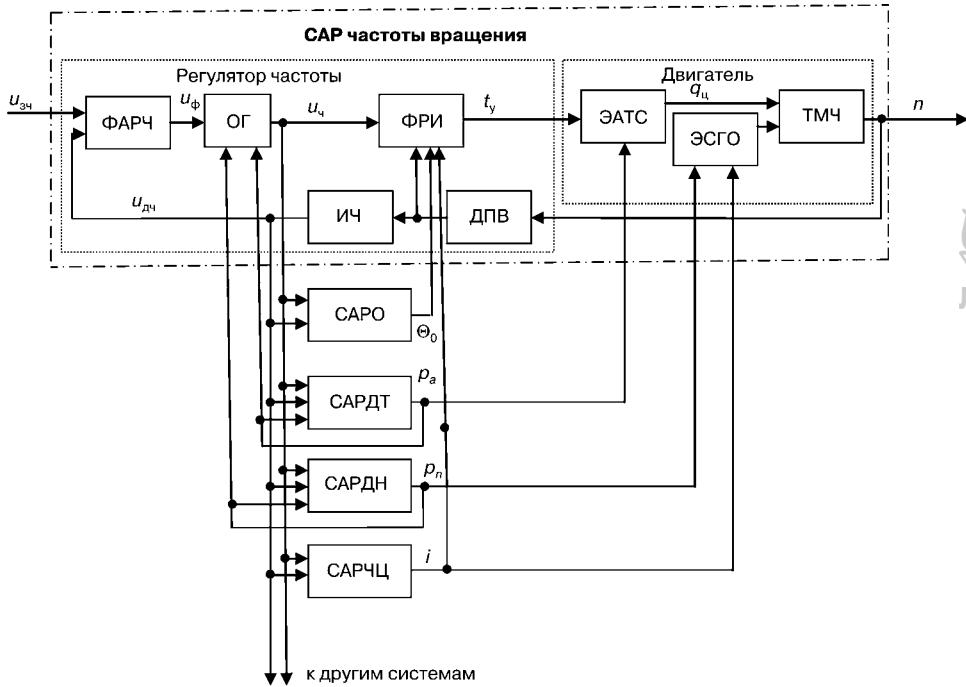


Рис. 8.3

Система программно-адаптивного управления двигателем с автоматическим регулированием частоты вращения и аккумуляторной топливной системой:

Регулятор частоты: ФАРЧ — формирователь алгоритма регулирования частоты; ФРИ — формирователь-распределитель управляющих импульсов; ОГ — ограничитель подачи топлива; ИЧ — измеритель частоты вращения; ДПВ — датчик положения коленчатого (распределительного) вала. Двигатель: ЭАТС — электронная аккумуляторная топливная система; ЭСГО — электронная система газообмена; ТМЧ — тепловая и механическая части. Программно-адаптивные системы автоматического регулирования: САРО — опережение впрыскивания; САРДТ — давления топлива в аккумуляторе; САРДН — давления наддува; САРЧЦ — числа работающих цилиндров; U_{34} — входной сигнал (задание) регулятора частоты; выходные сигналы: U_ϕ — ФАРЧ; U_u — ОГ; $U_{\text{дч}}$ — ИЧ; t_y — ФРИ (длительность управляющего импульса); q_u — ЭАТС (цикловая подача топлива); n — действительная частота вращения двигателя; Θ_0 — САРО (опережение впрыскивания); p_a — САРДТ (давление топлива в аккумуляторе); p_n — САРДН (давление наддува); i — САРЧЦ (число работающих цилиндров); САРДТ и САРДН — замкнутые.

Из представленных на рис. 8.3 в качестве примеров программно-адаптивных систем управления САРО и САРЧЦ являются разомкнутыми, а САРДТ и САРДН — замкнутыми. Для выработки и коррекции программ адаптации в эти и аналогичные им вторичные системы (не указанные на рисунке) из системы управления частотой подаются выходной сигнал регулятора частоты, действительная частота вращения и их производные. В каждом цикле работы цилиндров программаторы вторичных систем формируют задания своим регуляторам. В результате на каждом режиме работы двигателя вырабатывается оптимальное или, во всяком случае, близкое к нему сочетание всех управляющих воздействий.

Также может быть организована программная адаптация в управлении сопряженными с двигателем агрегатами силовой установки, например коробкой передач.



Чтобы повысить качество управления заданиями локальных регуляторов, программаторы должны учитывать не только частоту вращения и выходной сигнал регулятора частоты, но и в общем случае — параметры двигателя и среды, требующие изменения оптимальных настроек. Это могут быть выходные параметры двигателя, параметры воздуха, охлаждающих сред и других агрегатов силовой установки. В переходных процессах желательно использование в программах и знания производных всех или части контролируемых параметров.

В бензиновых двигателях автоматическое регулирование частоты вращения осуществляется только на части режимов, требования к качеству регулирования частоты вращения существенно ниже, чем для дизелей. Поэтому использование САРЧ, даже если она и имеется в составе микроконтроллера, в качестве ведущей затруднительно. Поскольку эта особенность МПСУ большинства бензиновых двигателей затрудняет организацию в их составе поисковых адаптивных систем, программная адаптация является основной в адаптивном управлении бензиновыми двигателями, а поисковая адаптация используется в локальных контурах. Обобщенная упрощенная схема МПСУ бензиновым двигателем представлена на рис. 8.4.

В МПСУ имеется замкнутая (по отклонению) система поддержания стехиометрического состава горючей смеси, что необходимо для эффективной работы трехкомпонентного каталитического нейтрализатора отработанных газов. Обратная связь осуществляется по сигналу датчика, реагирующего на

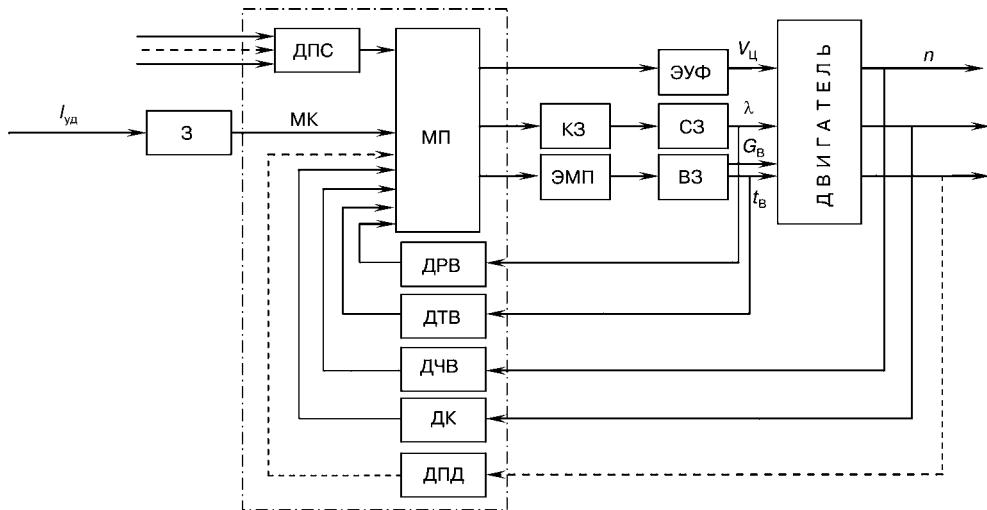


Рис. 8.4
Обобщенная схема МПСУ бензиновым двигателем:

ДПС — датчики параметров среды; З — задатчик режима работы двигателя (положение педали управления); ЭУФ — электроуправляемые форсунки; $V_{ц}$ — цикловая подача топлива; n — частота вращения; λ — содержание кислорода в отработанных газах; КЗ — катушка зажигания; СЗ — свеча зажигания; ЭМП — электромеханический преобразователь; ВЗ — воздушная заслонка; G_b — расход воздуха; t_b — температура воздуха; ДРВ — датчик расхода воздуха; ДТВ — датчик температуры воздуха; ДЧВ — датчик частоты вращения; ДК — датчик содержания кислорода (λ -зонд); ДПД — датчик других параметров двигателя.

изменение содержания свободного кислорода в продуктах сгорания (λ -зонду). Состав смеси регулируется изменением подачи топлива электромагнитными форсунками, а также замкнутой — по крайней мере на холостом ходу — системой регулирования частоты вращения. Она изменяет подачу воздуха по обходному каналу мимо закрытой дроссельной заслонки. Для регулирования проходного сечения канала используют клапан, управляемый шаговым или моментным электрическим двигателем.

В случае автоматического регулирования частоты вращения двигателя при работе под нагрузкой механическая связь педали водителя с дроссельной заслонкой разрывается и МК с помощью ЭМП управляет положением дроссельной заслонки по сигналу задатчика, установленного на педали водителя.

Управление опережением зажигания осуществляется программно по частоте вращения и расходу воздуха (разрежению во впускном трубопроводе, положению дроссельной заслонки) с учетом ряда возмущающих факторов. Оптимальные или близкие к ним значения опережения зажигания для всех режимов работы двигателя и с учетом возмущений устанавливаются экспериментально при калибровке МПСУ. В систему управления опережением зажигания входит локально замкнутый аддитивный контур, уменьшающий угол опережения зажигания в случае возникновения детонации. На рис. 8.4 датчик детонации включен в ДПД.

Аддитивные процедуры используются также для коррекции программного управления подачей топлива с учетом изменения в процессе эксплуатации характеристик измерителя расхода воздуха и форсунок.

Локально замкнутое управление применяется при регулировании температуры в системе охлаждения, для поддержания заданного давления наддува, ограничения предельной температуры отработанных газов перед турбокомпрессором, повышения точности управления рециркуляцией отработанных газов и др.

8.3.2. АЛГОРИТМЫ ДИСПЕТЧЕРА РЕЖИМОВ

Требования к двигателю меняются в зависимости от режима его работы, соответственно должны изменяться и программы управления.

Работу МПСУ нельзя обеспечить, если не определить конкретный для данного момента режим функционирования двигателя. На основании этого происходит выбор алгоритма, по которому в данный момент должно осуществляться управление.

Определение режима работы двигателя проводится с помощью программы-диспетчера режимов на основании информации, поступающей в микроконтроллер, в первую очередь от датчиков. Принцип работы такой программы в упрощенном виде показан на рис. 8.5 применительно к бензиновому двигателю.

После включения зажигания переход на программу управления пуском осуществляется, если включается стартер или в случае трогания автомобиля с места при движении «под уклон», если коленчатый вал двигателя начинает

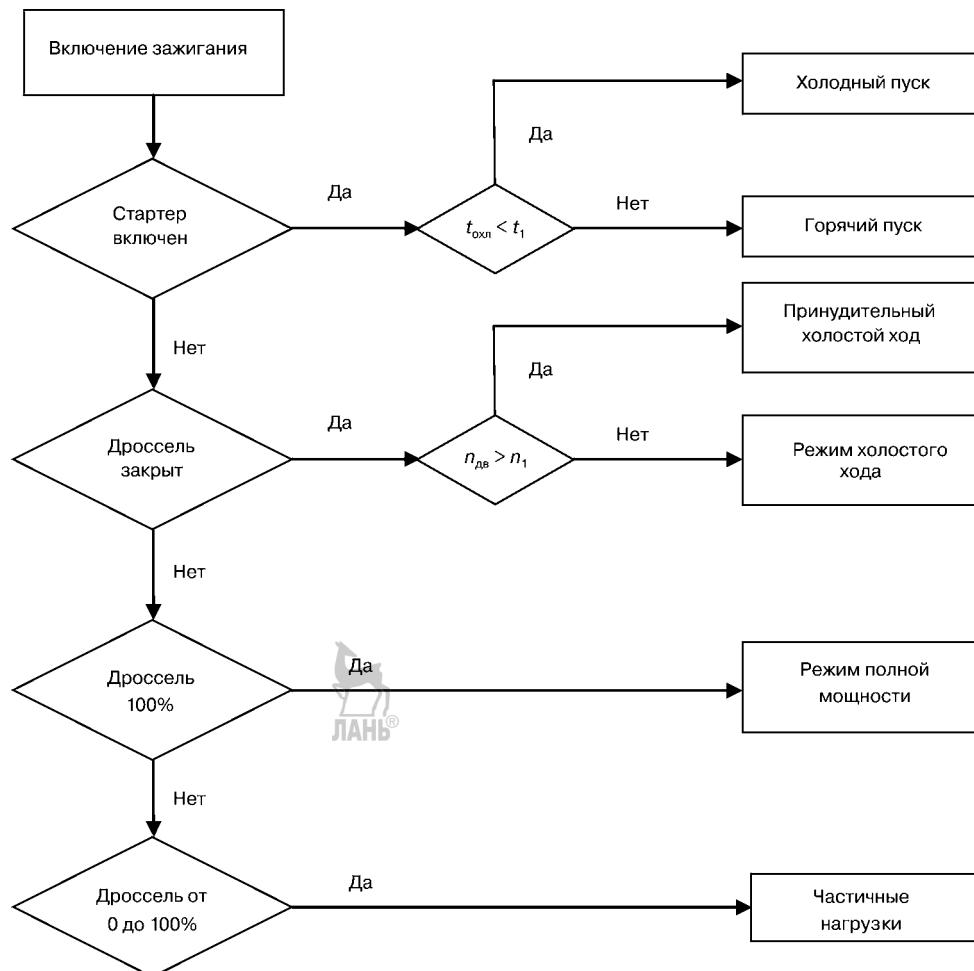


Рис. 8.5
Алгоритм идентификации режима работы бензинового двигателя:

$t_{\text{охл}}$ — температура жидкости в системе охлаждения; $n_{\text{дв}}$ — частота вращения двигателя; t_1 — значение температуры жидкости в системе охлаждения, разграничитывающее условия холодного и горячего пуска; n_1 — предельная частота вращения холостого хода.

вращаться. После включения стартера дальнейший выбор программы горячего или холодного пуска зависит от показаний датчика температуры жидкости в системе охлаждения. При $t_{\text{охл}} < t_1$ (как это показано на рисунке) выбирается алгоритм холодного пуска, и наоборот, при $t_{\text{охл}} > t_1$ — горячего.

Переход от пуска двигателя к рабочим режимам происходит в случае, если частота вращения двигателя превышает заданную: $n_{\text{дв}} > n_0$ (на схеме не показано). Сразу после выхода из режима пуска производится проверка, работает ли двигатель на режиме холостого хода или принудительного холостого хода. В обоих случаях дроссельная заслонка полностью закрыта, и если $n_{\text{дв}} > n_1$ (см. рисунок), то включается алгоритм принудительного холостого хода, и наоборот, если $n_{\text{дв}} < n_1$ — алгоритм режима холостого хода.

Промежуточное положение дроссельной заслонки между ее полным открытием и полным закрытием характеризует работу двигателя на режимах частичных нагрузок, а полное открытие дроссельной заслонки свидетельствует о переходе на режим максимальных нагрузок.

Программа-диспетчер режимов может быть общей для всех управляющих воздействий или встраиваться непосредственно в контуры управления отдельными управляющими воздействиями. Она может быть дополнена специальными критериями для идентификации определенных режимов, например выявления момента перехода двигателя на неустановившиеся режимы работы и др. Кроме того, в программу-диспетчер могут быть включены задачи определения области режимов, где должна работать система рециркуляции отработанных газов, области режимов, в которой осуществляется замкнутое регулирование подачи топлива по сигналам датчика содержания кислорода в отработанных газах, и др. Однако эти задачи могут быть решены и введением необходимых требований непосредственно в программы управления определенными воздействиями.

8.4. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

8.4.1. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Поскольку МПСУ частотой вращения играет исключительную роль в комплексной МПСУ, ее схемные и конструктивные особенности в значительной степени отражаются на работе всех контуров системы управления. Важны способ и точность определения величины отклонения действительной частоты вращения двигателя от заданной ее величины. Отклонение должно быть вычислено к моменту формирования длительности и задержки управляющего импульса для очередного цилиндра. Мгновенное значение отклонения зависит от крутящего момента, созданного сгоранием топлива в предшествующем цилиндре, и момента сопротивления. Чем ближе момент вычисления отклонения к моменту формирования управляющего импульса, тем меньше запаздывание воздействия регулятора частоты на подачу топлива в цилиндр.

Точность определения отклонения сравнением частот зависит от точности измерения действительной частоты вращения. Для двигателей чаще всего применяют датчики частоты вращения с зубчатыми дисками. Частота их выходных сигналов кратна частоте вращения коленчатого вала соответственно числу зубцов (обычно от 30 до 200). При вращении вала каждый зубец создает в датчике один импульс. Сигнал, характеризующий частоту вращения, формируется путем определения числа импульсов, поступающих с датчика в заданный интервал времени, или их периода.

Неидентичности зубцов и интервалов между ними, неравномерность вращения вала из-за импульсного характера крутящего момента, крутильных

колебаний, перекладки зазоров и помехи, вызываемые вибрациями, влиянием других вращающихся деталей двигателя, а также погрешностями установки отметок по углу, радиусу и высоте способствуют появлению ошибок. Для их исключения необходима фильтрация или усреднение. Поэтому частота вращения определяется заранее инерционно, соответственно запаздывает и вычисление отклонения частоты в регуляторе.

Более рационально определение отклонения частоты сравнением заданного и действительного периодов повторения рабочих циклов двигателя: конкретно — длительностей периодов повторения импульсов задатчика $T_{зч}$ и датчика $T_{дч}$. Могут сравниваться и длительности любых жестко обозначенных частей этих периодов. Способ определения отклонения остается тем же. Отсчет периодов начинается одновременно по сигналу о прохождении датчика положения коленчатого вала отметкой на валу, например зубцом. $T_{зч}$ получают отсчетом с момента прихода сигнала датчика заданного числа импульсов, формируемых кварцевым генератором. В момент окончания одного из периодов определяется знак отклонения и начинается отсчет его величины. Завершается отсчет после сигнала о прохождении датчика следующей отметки или спустя некоторый постоянный интервал времени. Ограничение этого интервала обусловлено тем, что период повторения сигналов датчика меньше заданного требует для торможения двигателя уменьшения подачи топлива, которое выполнимо только в пределах до полного выключения подачи.

Отклонение частоты представляется как интервал времени между окончаниями сравниваемых периодов, он отражает отклонение частоты, накопившееся за действительный период повторения циклов (выбранную его часть).

Отметки положения вала должны быть расставлены так, чтобы выделение интервала времени между сравниваемыми периодами завершалось непосредственно к моменту начала формирования управляющего импульса. Это минимизирует запаздывание определения отклонения частоты.

Интервал времени измеряется подсчетом приходящих на него импульсов генератора постоянной частоты. Любая наперед заданная точность отсчета периодов и соответственно их разности достигается выбором частоты этого генератора. Преобразование числа импульсов в код в микроконтроллере происходит наиболее точно и быстро.

Одним из конструктивных параметров системы определения отклонения частоты путем сравнения периодов является число отметок положения на коленчатом валу. Их увеличение уменьшает запаздывание данной системы, повышает ее чувствительность. Но при этом растет и чувствительность к неравномерности вращения вала. С другой стороны, чрезмерное снижение числа отметок создает запаздывание измерения отклонения частоты, соизмеримое с длительностью вычислительных процедур в микроконтроллере.

Для наиболее быстродействующих систем с электрически управляемыми форсунками это дополнительное запаздывание может отразиться на достоверном качестве регулирования частоты вращения. С этой точки зрения можно говорить о некотором оптимальном числе отметок датчика частоты.

В топливных системах с неимпульсным (непрерывным) управлением впрыскиванием, например с помощью перемещения рейки ТНВД, где эквивалентное запаздывание почти на порядок больше, чем в импульсных системах, можно обходиться меньшим числом отметок за один оборот коленчатого вала. В предельном случае достаточна одна отметка за оборот.

Для обеспечения предельного быстродействия регулятора частоты вращения достаточно выявить изменение отклонения частоты, образовавшееся после подачи топлива в предшествующий цилиндр. Поэтому можно начать отсчет сравниваемых периодов по сигналу датчика коленчатого вала, образовавшемуся при проходе его отметкой, использованной для формирования управляющего импульса предшествовавшего цилиндра.

Измерение действительного периода повторения циклов, выполняемое аналогично измерению разности периодов, позволяет не устанавливать на двигатель специальный датчик частоты вращения, используя вместо него датчик положения коленчатого вала.

При неравномерном по углу поворота коленчатого вала чередовании работы цилиндров можно, например, производить в увеличенных интервалах между рабочими циклами последовательно работающих цилиндров задержку момента начала отсчета периодов.

Исключить влияние неравномерности чередования работы цилиндров также возможно разбиением всех интервалов между цилиндрами на целые числа одинаковых интервалов. Через эти промежуточные интервалы устанавливаются дополнительные отметки. В системе управления осуществляется отсчет заданного числа отметок для каждого очередного цилиндра.

Замена датчика положения коленчатого вала датчиком положения распределительного вала может создать дополнительные погрешности определения отклонения частоты вращения и регулирования опережения впрыскивания из-за колебаний в приводе распределительного вала.



8.4.2. РЕГУЛЯТОРЫ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Главными факторами, определяющими эффективность МПСУ дизеля, являются алгоритмы регулирования частоты вращения и реализующие их структуры регуляторов в микроконтроллере.

Синтез МПСУ частотой вращения заключается в нахождении оптимального или достаточно близкого к нему алгоритма регулирования, а также структуры регулятора, реализующего такой алгоритм.

Наиболее высокие требования к качеству управления предъявляются именно к МПСУ частотой вращения.

При применении современных компьютерных технологий в микроконтроллере двигателя возможна реализация лучших значений показателей качества двигателя, а высокое качество регулирования частоты вращения расширяет возможности повышения качества регулирования и всех остальных параметров двигателя и комплексного адаптивного управления. Это относится прежде всего к точности поддержания частоты вращения на

установившихся режимах, величине максимального отклонения и длительности переходных процессов отработки изменений нагрузки, разгона и торможения двигателя. Практически данная задача сводится к обеспечению инвариантности частоты вращения от возмущений — набросов и сбросов нагрузки в максимально возможном диапазоне изменения нагрузки.

Установлено, что оптимизация МПСУ частотой вращения по быстродействию минимизирует и максимальные отклонения частоты вращения в переходных процессах.

Поскольку из-за запаздывания в канале управления частотой вращения в двигателе абсолютная инвариантность частоты вращения при изменении нагрузки недостижима, можно ставить только задачу достижения инвариантности до половины технически допустимой нестабильности частоты вращения на установившихся режимах. Далее под инвариантностью принимается именно эта ее величина.

В МПСУ частотой вращения для обеспечения инвариантности, безусловно, целесообразно комбинированное (двухканальное) управление — по отклонению частоты вращения и изменению нагрузки двигателя. Информацию о нагрузке, и об отклонении следует использовать в любом случае наиболее полно, так как это поможет:

- обеспечить оптимизацию и нетиповых режимов (например, наброс нагрузки при незавершенной отработке сброса);
- повысить надежность системы;
- сохранить достаточное качество управления при отказах некоторых ее элементов.

Динамические характеристики двигателей существенно изменяются с изменениями частоты вращения и нагрузки. Поэтому обеспечение качества управления требует как минимум программного изменения настроек регуляторов в функции частоты вращения. Установлено, что с изменением настроек использование в электронных МПСУ частотой вращения двигателей линейных жестких структур позволяет обеспечить показатели качества, достигнутые в лучших образцах гидромеханических систем управления частотой вращения, и даже несколько их превзойти, однако инвариантность обеспечивается ими хотя и в более широком, но ограниченном диапазоне набираемых нагрузок.

Доказано также, что для установившихся и переходных процессов отработки различных воздействий оптимальные по быстродействию и точности алгоритмы регулирования существенно различны.

Для двигателей желательны регуляторы частоты вращения, способные быстро приспосабливаться к изменяющимся режимам, условиям работы и возмущениям. Поэтому наиболее эффективны регуляторы с нелинейными алгоритмами, которые осуществляются системами с переменной структурой (СПС), обладающими широкими возможностями улучшения качества.

Опять-таки для двигателей пригоден только режим переключений при использовании на финальной стадии асимптотически устойчивых структур. В СПС двигателей, оптимальных по быстродействию (когда критерий оптимальности — длительность переходного процесса), необходимо чередование

форсирующей, демпфирующей и асимптотически устойчивой структур. То есть в переходном процессе двигателя должны поочередно действовать три разных по структуре регулятора частоты. В обычных механических и даже гидромеханических регуляторах это труднодостижимо.

На рис. 8.6 представлена упрощенная схема регулятора частоты вращения с переменной структурой, а на рис. 8.7 показана возможность оптимизации переходного процесса отработки таким регулятором скачкообразного наброса нагрузки на двигатель.

На вход в регулятор поступают заданная и действительная частоты вращения, а также сигнал u_{im} о нагрузке двигателя, например с измерителя мощности. В регуляторе вычисляется отклонение частоты $\varepsilon = n_3 - n$. УПС действует по информации об отклонении частоты и нагрузке двигателя. На рис. 8.7 показано относительное отклонение частоты вращения $\varphi = \varepsilon/n_3$.

Форсирующая структура релейная, и в зависимости от знака отклонения она оказывает на двигатель предельно возможные воздействия — максимально допустимую либо нулевую подачу топлива. Демпфирующая структура также релейная, но имеет противоположный знак, тем самым по принципу действия не уменьшает, а увеличивает отклонение частоты. Завершающая структура реализует обычный для двигателей линейный пропорционально-интегральный алгоритм регулирования частоты, обеспечивая заданную устойчивость при апериодическом переходном процессе.

Форсирующая структура для двигателя, безусловно, неустойчива. При постоянном действии она вызовет не затухающий колебательный процесс с частотой, максимально достижимой

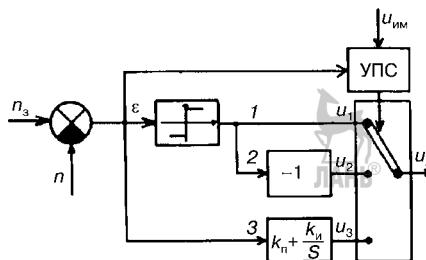


Рис. 8.6
Регулятор частоты вращения
с переменной структурой:

Частоты вращения: n_3 — заданная; n — действительная. Структуры: 1 — форсирующая; 2 — демпфирующая; 3 — завершающая; П — переключатель структур; УПС — устройство переключения структур; u_{im} — нагрузка двигателя; u_{1-3} — выходные сигналы переключаемых структур; u_Σ — результирующий сигнал.

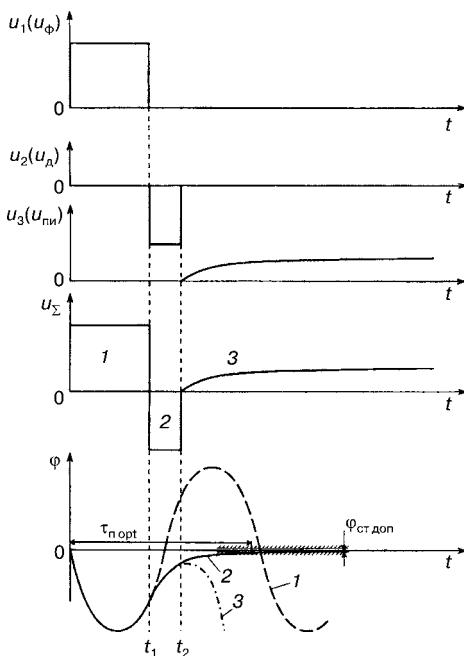


Рис. 8.7
Оптимизация переходного процесса отработки скачкообразного наброса нагрузки на двигатель сменой структур
в регуляторе частоты:

Структуры: 1 — форсирующая; 2 — демпфирующая; 3 — завершающая; u_{1-3} — выходные сигналы переключаемых структур; u_Σ — результирующий сигнал; φ — относительное отклонение частоты вращения; $\varphi_{ст. доп}$ — допустимое в статическом режиме относительное отклонение частоты вращения; t_1, t_2 — моменты первого и второго переключения структур; $\tau_{опт}$ — длительность оптимального переходного процесса.

для двигателя. На рис. 8.7 он представлен кривой 1. Очевидно, что развитие такого процесса недопустимо.

При нулевых начальных условиях минимальная длительность переходного процесса в СПС не может быть меньше половины периода предельно достижимого по скорости колебательного процесса. Переменная структура может исключить развитие второго и последующих полупериодов и сделать результатирующий переходный процесс апериодическим. Поэтому начало переходного процесса целесообразно отрабатывать с форссирующей неустойчивой структурой системы управления частотой вращения.

В момент времени t_1 , когда большая часть отклонения будет устранена с максимально возможной скоростью, форссирующая структура заменяется переключателем УПС на демпфирующую. Скорость устранения отклонения снижается, но если оставить эту структуру включенной, то процесс пойдет по кривой 2. Двигатель будет остановлен (при отработке сброса нагрузки — уйдет вразнос). Поэтому в момент времени t_2 необходимо переключиться с демпфирующей структуры на третью, плавно завершающую переходный процесс (кривая 3).

Таким образом, СПС может обеспечить апериодический переходный процесс, оптимальный по длительности ($\tau_{\text{п опт}}$ — от момента наброса нагрузки до момента, когда отклонение снизится до $\varphi_{\text{ст доп}}$ — значения, допустимого в установившемся, упрощенно статическом режиме). Для этого демпфирование должно исключить или хотя бы уменьшить перерегулирование, подавив производную ошибки таким образом, чтобы и ошибка, и ее производная одновременно достигли значений, близких к допустимым для установившегося режима. Чем быстрее осуществляется демпфирование, тем дольше соответственно может действовать предшествующая форссирующая структура, иными словами — тем большая часть ошибки устраняется с предельно достижимой скоростью.

Синтез оптимальных по быстродействию систем управления частотой вращения сводится к выбору вида и параметров переключаемых структур и определению моментов их переключения.

Реализация временных алгоритмов переключения структуры в микроконтроллере не представляет принципиальных затруднений при наличии достаточно точной информации о возмущениях и возможных управляющих воздействиях. При нулевых начальных условиях и скачкообразных типовых возмущениях такие алгоритмы должны обеспечить оптимальный переходный процесс. В реальных же условиях эксплуатации необходима оптимизация переходных процессов, вызванных неконтролируемыми возмущениями или изменениями задания, а также совместным действием нескольких внешних воздействий. Здесь временные алгоритмы переключения не только не оптимальны, но могут даже ухудшить качество регулирования по сравнению с жесткими структурами. Поэтому для общего случая необходима комбинированная МПСУ частотой вращения с замкнутой схемой СПС, производящей переключения структуры системы управления частотой вращения непосредственно по управляемым параметрам двигателя: частоте вращения, нагрузке и их производным. Только такие параметрические алгоритмы переключения и рассматриваются далее.

Упрощенная эквивалентная структурная схема регулятора частоты вращения с переменной структурой, формирующего сигнал ошибки сравнением периодов, представлена на рис. 8.8.

Схема соответствует многим вариантам программной или аппаратурной реализации, а также полностью — некоторым реальным исполнениям.

В общем случае управляющее воздействие регулятора u_{Σ} получается суммированием выходных сигналов трех параллельно действующих каналов: u_n — выходного сигнала канала, условно, без учета нелинейности, названного пропорциональным. Он формирует воздействие по u_e и реальной производной сигнала, если он есть в системе, измерителя нагрузки (мощности или момента сопротивления) u_{im} ; u_{im} — может отражать изменение активной мощности генератора электрической передачи или состояния других видов передач. Воздействие интегрирующего канала обозначено u_i , а дифференцирующего — u_d . Их передаточные функции соответственно $1/S$ и $S/(T_d S + 1)$.

На входах пропорционального, интегрирующего и дифференцирующего каналов включены нелинейные элементы. В простейшем варианте они имеют кусочно-постоянные характеристики с минимумом точек излома.

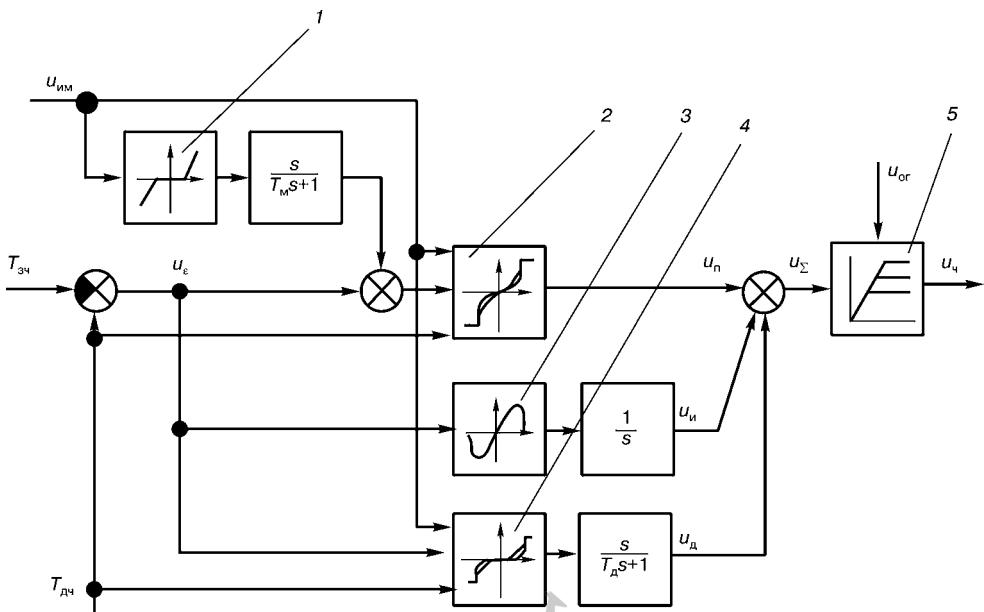


Рис. 8.8
Эквивалентная схема робастно-адаптивного

микропроцессорного регулятора частоты вращения с переменной структурой:

1–5 — нелинейные элементы на входах каналов формирования воздействий по нагрузке, пропорциональному, интегрирующему и дифференцирующему соответственно; u_{im} — сигнал измерителя нагрузки; T_{3q} — период повторения импульсов задатчика; T_d — период повторения импульсов датчика; u_e — сигнал ошибки; u_n — выходной сигнал пропорционального канала; u_i — выходной сигнал интегрирующего канала; u_d — выходной сигнал дифференцирующего канала; u_{Σ} — суммарный сигнал трех параллельно действующих каналов; u_q — выходной сигнал регулятора частоты вращения; u_{or} — ограничения, действующие на выходной сигнал регулятора частоты.

В функции отклонения частоты вращения и нагрузки нелинейные элементы обеспечивают изменение коэффициентов передачи от 0 (полного выключения соответствующих каналов) до бесконечности, создавая тем самым в сочетании с ограничениями релейную характеристику.

Выходной сигнал регулятора, непосредственно управляющий подачей топлива, получается из u_{Σ} в нелинейном элементе типа ограничения, уровень которого определяется $u_{\text{ог}}$, зависящим от состояния двигателя и других, кроме подачи топлива, управляющих воздействий. Пропорционально $u_{\text{ч}}$ изменяется подача топлива (в системах импульсного управления длительность импульса) так, чтобы действительная частота вращения приблизилась к заданной. В установившемся режиме действуют пропорциональный и интегрирующий каналы, обеспечивая оптимальный по условиям устойчивости в малом пропорционально-интегральный алгоритм регулирования частоты вращения.

При появлении отклонения частоты вращения или существенном скачкообразном изменении нагрузки (если она контролируется) входные сигналы нелинейных элементов выходят за точки излома характеристик. Коэффициент с начальным значением, практически устремленным до бесконечности, создает релейную характеристику. Коэффициент передачи интегрирующего канала уменьшается, отключая его; до перехода на релейную характеристику включается дифференцирующий канал. Это состояние регулятора и представляет собой форсирующую структуру для управления переходным процессом.

Условия для первого в переходном процессе переключения структуры возникают после изменения знака производной u_e , т. е. после того, как отклонение начало уменьшаться. Обеспечение оптимальных моментов первого переключения достигается изменением коэффициентов передачи и точек излома характеристик нелинейных элементов пропорционального и дифференцирующего каналов в функции u_e и $u_{\text{им}}$. Демпфирующая структура создается преобладающим действием u_d на втором интервале переходного процесса.

Второе переключение происходит при дальнейшем снижении отклонения частоты вращения до уровня, соответствующего ближайшим к началу координат точкам излома нелинейных характеристик. При этом отключается дифференцирующий канал и включается интегрирующий, что должно соответствовать моменту вывода МПСУ частотой вращения, близкой к установленному режиму.

В итоге переключения структур определяются настройками точек изломов нелинейных характеристик и соотношениями коэффициентов передачи каналов. Эти настройки могут быть постоянными, оптимальными для определяющего режима, или варьируемыми адаптивным устройством в функции состояния двигателя и внешних воздействий. В таком варианте реализуется программная адаптация точек изломов нелинейных характеристик. Во всем остальном регулятор остается робастным. На рис. 8.8 возможности изменения настроек показаны параллельными линиями в средних участках нелинейных характеристик.



8.4.3. РОБАСТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Оптимальные по быстродействию и максимальному отклонению уставки (заданные значения u_e , пропорционального отклонению частоты, при которых возникают изломы нелинейных характеристик в каналах регулятора частоты) переключения структуры зависят от параметров двигателя, его исходного состояния и величины наброса нагрузки. При этом переходный процесс близок к апериодическому. Однако СПС, где реализуются алгоритмы переключения с программной адаптацией, соответствующей этим зависимостям, только квазиоптимальны. Прежде всего это обусловлено неточностями математического описания протекающих в двигателе процессов. Кроме того, имеют место индивидуальные различия и неконтролируемые изменения параметров двигателя в различных условиях его эксплуатации. Другая группа причин связана с трудностями реализации оптимальных алгоритмов управления, главным образом из-за соизмеримости уставок переключения структуры с уровнями высокочастотных составляющих отклонения частоты вращения и их производных.

Использование принципов адаптации для достижения оптимальности регулирования частоты вращения затруднено несовершенством технических и программных средств определения ускорения коленчатого вала, нечувствительных к неравномерности вращения, вызванной импульсным характером крутящего момента, крутильными колебаниями, перекладкой зазоров и т. п., а также недостаточным быстродействием контуров адаптации.

Для МПСУ частотой вращения более целесообразны робастные системы, которые могут обеспечить оптимальное качество хотя бы только в одном из возможных частных случаев. Во всех остальных (при изменениях характеристик двигателя и внешних воздействий) робастные системы, имеющие постоянные параметры, обеспечивают качество регулирования ниже оптимального, однако заведомо удовлетворяющее заданным требованиям.

Квазиоптимальность робастных МПСУ — это упрощение алгоритмов управления и неточность уставок переключения структуры.

Наибольшее отступление от оптимальности — применение постоянных уставок переключения структуры. Уставки второго переключения (с демпфирующей структуры на линейную) вообще мало зависят от величин возмущений и отклонений. Что касается первого переключения (с форсирующей структуры на демпфирующую), его уставки при робастном подходе можно выбрать из условий полной оптимизации для наиболее трудного в отработке или наиболее вероятного процесса. Как правило, это полные или достаточно большие набросы нагрузки. При этом процессы сбросов нагрузки или частичных набросков не будут оптимизированы полностью, но тем не менее инвариантны или достаточно близки к инвариантности.

Испытания нескольких вариантов оптимальных и квазиоптимальных робастных МПСУ с переменной структурой подтвердили, что инвариантность достигается в гораздо большем диапазоне скачкообразных изменений нагрузки, чем в любых линейных системах управления с жесткой структурой.

В рабочих системах можно ограничиться уставками переключения только по отклонению частоты вращения и знаку производной этого отклонения или даже только по одному отклонению, если в алгоритме регулирования частоты вращения используется воздействие по производной.

Экспериментально подтверждена возможность достижения инвариантности до 0,3% в МПСУ частотой вращения переменной структуры при управлении по отклонению частоты вращения и изменению нагрузки двигателя во всем диапазоне изменения нагрузки.

8.4.4. КАЧЕСТВО УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ

В реальном установившемся режиме регулирования частоты кроме статической ошибки, представляющей собой среднее значение за один или несколько оборотов, имеют место переменные, составляющие ошибки (неравномерность частоты вращения), вызванные высокочастотными возмущениями или помехами. Они создаются крутильными колебаниями, несовершенством передач, погрешностями датчика, нестабильностью нагрузки, а также помехами измерителя нагрузки. Эти помехи имеют сравнительно малые амплитуды.

Микропроцессорные регуляторы и электронные топливные системы, практически не содержащие элементов, запаздывание и инерция которых больше, чем в тепловом и механическом звеньях двигателя, расширяют полосу пропускания МПСУ частотой вращения. Она становится более чувствительной к высокочастотным возмущениям. В ней возникают высокочастотные автоколебания, создающие существенную установившуюся неравномерность частоты вращения в пределах одного оборота вала двигателя. Автоколебания растут и при введении производной в алгоритм регулирования. Указанные автоколебания приводят, в частности, к установившейся неравномерности подач топлива по цилиндрам и, соответственно, неравномерности распределения нагрузки по цилиндрам сверх допустимых пределов. Для их устранения достаточно включения даже линейных стационарных фильтров в структуру для установившегося режима.

Однако более рационально использование фильтрующих свойств нелинейных элементов с постоянными, а тем более адаптивными зонами нечувствительности на входе дифференцирующего канала и достаточно низкой крутизной начальных участков характеристики нелинейного элемента в пропорциональном канале, как это показано на рис. 8.8.

Экспериментальная проверка на различных двигателях показала, что статическая ошибка при использовании описанных алгоритмов регулирования частоты вращения и структур микроконтроллеров может быть сделана сколь угодно малой. Практически она не выходила за пределы 0,007%.

Возможность оптимизации в СПС параметров пропорционально-интегральных алгоритмов регулирования частоты вращения в установившихся режимах без потери качества переходных процессов позволила минимизировать нестабильность частоты вращения. Возможность при тех же услови-

ях обеспечивать в структурах установившихся режимов эффективную фильтрацию высокочастотных возмущений минимизировала неравномерность частоты вращения двигателя. В совокупности обеспечены меньшие амплитуды колебаний выходных сигналов микропроцессорных регуляторов частоты вращения, определяющих соответственно и более высокую равномерность и стабильность цикловых подач топлива по цилиндрам в установленных режимах. Таково одно из средств снижения расхода топлива в двигателях с МПСУ.

Повышение качества регулирования частоты вращения микропроцессорными регуляторами в установленных режимах позволяет также снизить минимальноустойчивую частоту вращения двигателей на холостом ходу, что обеспечивает существенное снижение среднеэксплуатационного расхода топлива.

Снижение минимально устойчивой частоты вращения позволяет заканчивать пуск двигателя на соответственно меньшей частоте вращения, что сокращает расход энергии и длительность пуска.

В микроконтроллере наиболее проста реализация оптимальных алгоритмов управления разгоном двигателя при пуске. Кроме алгоритмов оптимального регулирования частоты вращения в СПС в комплекс входят алгоритмы программного адаптивного управления параметрами впрыскивания топлива и воздушного заряда в функции исходного состояния, текущих значений частоты вращения и давления наддува запускаемого двигателя. В том числе опережением, давлением, числом фаз, формой характеристики впрыскивания топлива, ограничением величины подачи топлива, исключением подачи топлива при условиях, не обеспечивающих его воспламенение и эффективное сгорание, фазами газораспределения и др.

МПСУ также расширяет возможности программного перевода в процессе пуска части цилиндров двигателя в компрессорный режим с целью ускорить рост давления наддува и т. п.

Форсирующая структура обеспечивает наиболее эффективное использование программного (адаптивного) управления с целью ускорить процесс разгона двигателя, а демпфирующая позволяет минимизировать (вплоть до полного исключения) перерегулирование частоты вращения на завершающей стадии пуска.

На всех испытанных двигателях электронное управление обеспечивает сокращение длительности и повышение надежности пуска. При этом за счет сокращения длительности, уменьшения колебательности переходного процесса и ограничения снизу и сверху цикловых подач снижается расход топлива при пуске двигателя.

Дополнительное сокращение длительности пуска достигается, например, форсирующими цилиндрами, ускоряющими создание давления топлива в аккумуляторах.

Облегчение и ускорение пуска двигателя при микропроцессорном управлении позволяет уменьшить и удешевить источники пусковой энергии, дополнительно улучшая экономические и массогабаритные показатели установки.

8.5.

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРЕЖЕНИЕМ ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВА И ЗАЖИГАНИЕМ



8.5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В электронной топливной системе (ЭТС) с управляемыми ТНВД изменение опережения впрыскивания топлива выполняется аналогично дозированию исполнительными электромеханическими или электрогидравлическими преобразователями непрерывного действия. Такое управление практически не отличается от осуществляемого традиционными механическими системами.

В импульсно управляемых ЭТС опережение впрыскивания на любом режиме работы двигателя устанавливается алгоритмически и индивидуально для каждого цилиндра. Для распределения электрических импульсов по форсункам или насос-форсункам в таких системах используют электрические датчики положения коленчатого вала (ДКВ). На рис. 8.9 представлена схема его установки, а на рис. 8.10 — временная диаграмма управления впрыскиванием топлива (на примере ЭТС с форсированным электромагнитом управляющего клапана).

Достаточно одного общего датчика, а отметки положений вала должны быть индивидуальные — не менее одной для каждого цилиндра. Для много-

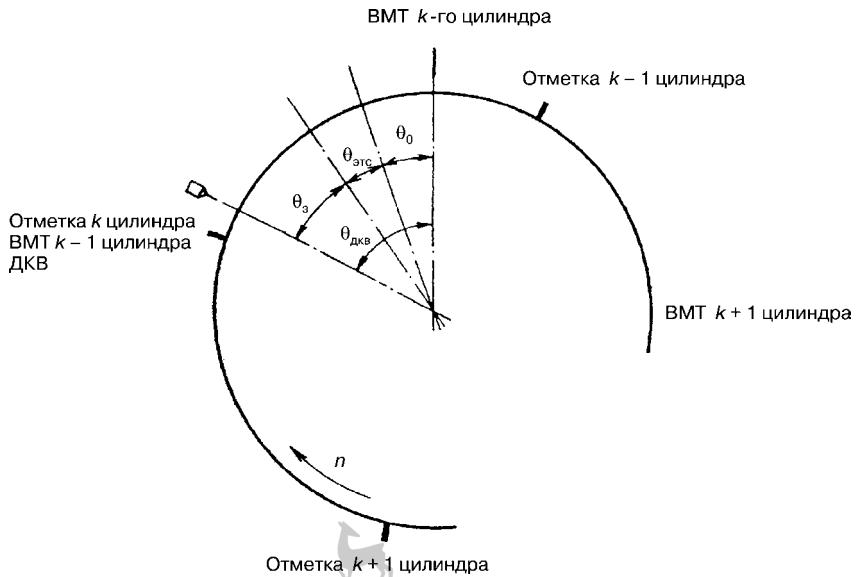


Рис. 8.9
Схема установки датчика коленчатого вала двигателя:

$\theta_{\text{дкв}}$ — угол опережения установки датчика относительно ВМТ k -го цилиндра; θ_3 — угол задержки электрического управляющего импульса; θ_{etc} — угол, соответствующий запаздыванию электронной топливной системы; θ_0 — угол опережения впрыскивания.

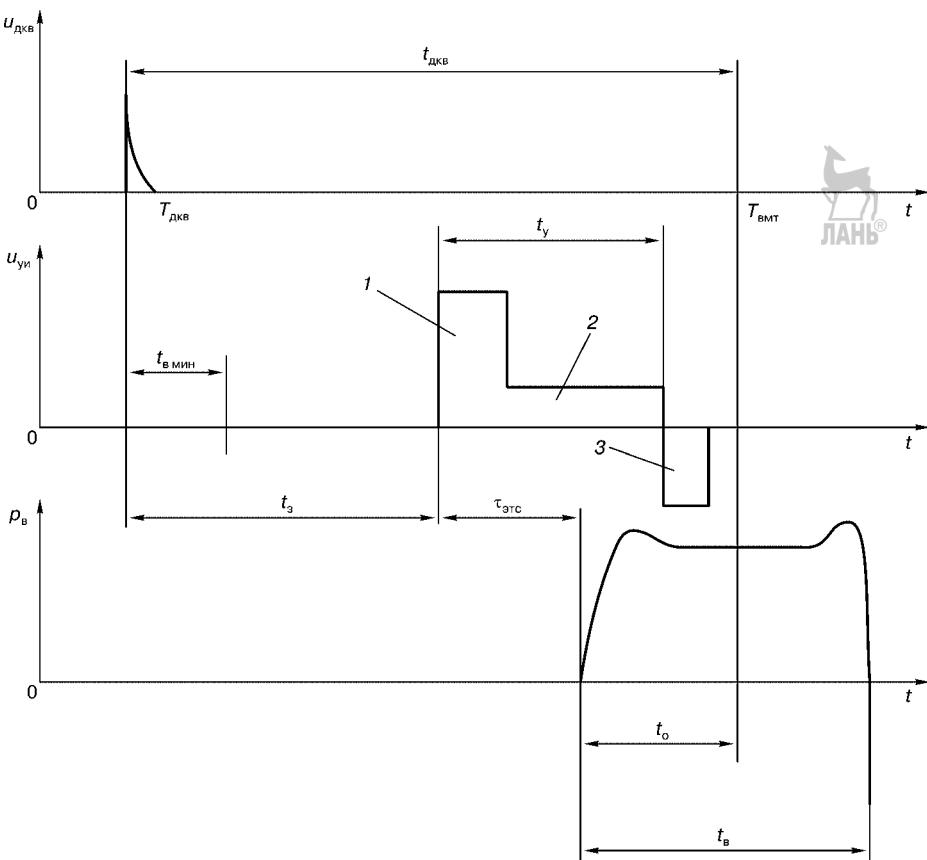


Рис. 8.10
Временная диаграмма формирования впрыскивания топлива:

Составляющие электрического управляющего импульса электромагнита: 1 — форсирующая; 2 — удерживающая; 3 — размагничивающая; $u_{\text{дкв}}$ — напряжение выходного сигнала датчика коленчатого вала; $u_{\text{уи}}$ — напряжение управляющего импульса; $p_{\text{в}}$ — давление впрыскивания топлива; $T_{\text{дкв}}$ — момент прохода датчика положения коленчатого вала отметкой k -го цилиндра; $t_{\text{дкв}}$ — время, соответствующее углу опережения установки датчика относительно ВМТ k -го цилиндра; $T_{\text{вмт}}$ — момент прохода ВМТ поршнем того же цилиндра; t_3 — время задержки электрического управляющего импульса; $t_{\text{мин}}$ — минимально необходимое время задержки электрического управляющего импульса; t_y — длительность электрического управляющего импульса; $\tau_{\text{элс}}$ — запаздывание электронной топливной системы; t_b — длительность впрыскивания топлива; t_0 — время опережения впрыскивания.

цилиндровых двигателей отметки могут быть общими у каждой группы синфазно работающих цилиндров. В четырехтактных двигателях отметки могут быть общими у цилиндров, работающих с одинаковыми фазами, но в разных оборотах коленчатого вала. Для различия оборотов при этом необходим дополнительный датчик, например положения распределительного вала.

Положения отметок в моменты, соответствующие нахождению поршней в ВМТ, показаны на рис. 8.9 штрихами вне контура диска, на котором они выполнены. Зачастую вместо указанных немногочисленных отметок положения коленчатого вала на него устанавливают диск, имеющий несколько десятков зубцов, каждый из которых формирует в датчике электрический импульс.

Чтобы установить начало отсчета угла поворота вала, выполняют пропуск в чередовании импульсов, удалив несколько зубцов на диске. Действительный угол поворота вала определяется в микроконтроллере подсчетом числа импульсов, поступивших с датчика после прохода датчика сектором диска без зубцов. При достижении заданного угла начинается формирование опережения впрыскивания.

Впрочем, для работы распределителя по цилиндрям электрических управляющих импульсов в любом случае необходимо определить момент начала подготовки впрыскивания топлива в первый цилиндр.

Регулятор опережения впрыскивания топлива функционирует, если датчик и отметки положений коленчатого вала расположены так, что момент прохода очередной отметкой датчика положения опережает момент желаемого начала подачи топлива в соответствующий цилиндр.

Расположение датчика и отметок обычно ориентировано относительно ВМТ. Угол опережения установки датчика:

$$\theta_{\text{дкв}} = \theta_o + \theta_{\text{этс}} + \theta_3.$$

Ему соответствует $t_{\text{дкв}}$; отсчет этого времени начинается с момента прохождения датчика отметкой положения k -го цилиндра. Углам θ_o , $\theta_{\text{этс}}$ и θ_3 — t_o , $\tau_{\text{этс}}$ и t_3 .

Напряжение выходного сигнала датчика положения коленчатого вала управляет работой распределителя и формирует в регуляторе опережения цикл регулирования опережения впрыскивания, которое производится путем изменения t_3 с учетом $\tau_{\text{этс}}$ и частоты вращения коленчатого вала. Расчет t_3 производится по формуле

$$t_3 = \frac{\theta_{\text{дкв}}}{\omega - \tau_{\text{этс}}}.$$

Для обеспечения максимально возможного для конкретного двигателя значения опережения впрыскивания $t_{o \max}$ необходимо, чтобы достижимое микроконтроллером наименьшее значение задержки электрического импульса составляло

$$t_{o \min} > t_{\text{дкв}} - \tau_{\text{этс}} - t_{o \max}.$$

На каждом скоростном и нагрузочном режимах работы двигателя t_3 вычисляется в регуляторе опережения микроконтроллера за время t_{po} на основании действительной частоты вращения и t_y . В свою очередь, t_y определяется в регуляторе частоты вращения за $t_{pч}$.

Нужно, чтобы необходимое значение времени опережения вычислялось не позже чем к моменту $t_{\text{дкв}} + t_{3 \min}$, т. е.:

$$t_{3 \min} > t_{po} + t_{pч}.$$

Из двух последних выражений следует, что минимально необходимое время опережения сигнала датчика положения коленчатого вала должно определяться следующим образом:

$$t_{\text{дкв min}} > t_{o \max} + \tau_{\text{этс}} + t_{po} + t_{pч}.$$

Поэтому при установке на двигатель датчика и отметок положения коленчатого вала минимально необходимый угол опережения их установки относительно ВМТ должен выбираться из условия

$$\theta_{\text{дкв min}} \geq \frac{t_{\text{дкв min}}}{\omega_{pc}}.$$

За ω_{pc} принимается угловая скорость вращения коленчатого вала, на которой необходимо обеспечить максимальное отношение $t_{o \max} / \omega_{pc \ max}$.

Для большинства двигателей с аккумуляторной электронной топливной системой достаточно $\theta_{\text{дкв}} = 40^\circ$. Вместе с тем чем меньше запас по этому углу, тем меньше запаздывание в регуляторах частоты вращения и опережения впрыскивания.

8.5.2. ПРОГРАММНО-ПОИСКОВАЯ АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВА

Наиболее характерным примером комбинированной программно-поисковой адаптации является адаптивная система регулирования опережения впрыскивания топлива.

Выходной сигнал регулятора опережения впрыскивания топлива в топливных системах с электронным импульсным управлением определяет время задержки управляющего импульса. В общем случае оптимальное значение выходного сигнала регулятора опережения, соответствующее оптимальному углу опережения впрыскивания, зависит от:

1. частоты вращения двигателя;
2. давления наддува;
3. продолжительности давления;
4. формы характеристики впрыскивания.

Все эти параметры, кроме 1-го и 3-го, должны быть адаптивно управляемы. При программной адаптации они так же, как и опережение, регулируются в функции частоты вращения, выходного сигнала регулятора частоты и их производных. Поэтому их учет в алгоритме программно-адаптивного управления требуется только в тех переходных процессах двигателя, которые протекают быстрее, чем переходные процессы в других локальных МПСУ. Речь может идти, например, об учете в программе давления наддува. Безусловно, для оптимизации процесса пуска также необходима адаптация в функции теплового состояния двигателя. При наличии в системе управления датчиков таких параметров двигателя программная адаптация обеспечивает достижение необходимого быстродействия при удовлетворительной точности регулирования опережения.

В схеме, представленной на рис. 8.11, программную адаптацию по частоте вращения, выходному сигналу регулятора частоты и их производным осуществляет программатор, входящий в структуру задатчика опережения.

Ведущей является САРЧ, и в ее состав входит кроме представленных на рисунке элементов собственно двигатель.

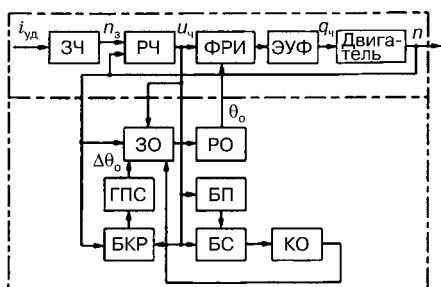


Рис. 8.11

Схема адаптивно-поисковой МПСУ опережением впрыскивания топлива:

В системе автоматического регулирования частоты вращения (САРЧ): ЗЧ — задатчик частоты вращения; РЧ — регулятор частоты вращения; ФРИ — распределитель управляемых импульсов; ЭУФ — электроуправляемые форсунки; $i_{уд}$ — положение педали управления двигателем; n_z — заданная частота вращения; n — действительная частота вращения; u_q — выходной сигнал регулятора частоты; q_u — цикловая подача топлива. В системе автоматического регулирования опережения впрыскивания (САРО): ЗО — задатчик опережения; РО — регулятор опережения; ГПС — генератор поисковых сигналов; БП — блок памяти; БКР — блок контроля режимов; БС — блок сравнения; КО — корректор опережения впрыскивания; $\Delta\theta_o$ — шаг поискового сигнала опережения впрыскивания.

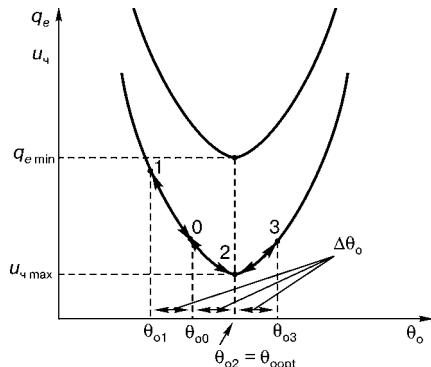


Рис. 8.12

Диаграмма поиска экстремума в адаптивной МПСУ опережением впрыскивания топлива:

$\theta_{o0} - \theta_{o3}$ — значения углов опережения впрыскивания топлива.

а генератору поисковых сигналов — изменить направление нового шага, что выводит систему в точку 2. Поскольку при этом выходной сигнал регулятора становится меньше, следующий шаг поиска производится в том же направлении. Система оказывается в точке 3 с возросшим расходом топлива. Блок срав-

На рис. 8.12 показан типичный вид зависимостей удельного расхода топлива q_e и u_q от опережения впрыскивания при постоянных режимах работы двигателя и других, кроме опережения впрыскивания, управляющих воздействиях.

Координаты каждой из кривых переменны, но их минимальные значения в любом случае приходятся на одно и то же значение угла опережения, оптимальное по расходу топлива.

В соответствии с программой ЗО определяет опережение впрыскивания в переходных процессах и при выходе на установленный режим. Положим, что программа установила для некоторого установленного режима опережение θ_{o0} , которому соответствует точка 0 на кривой выходных сигналов. После стабилизации режима работы двигателя, выявляемой блоком контроля режимов, в блок памяти заносится значение u_q , определяющего продолжительность впрыскивания при установленном значении опережения. После чего дается команда на поиск экстремума генератору поисковых сигналов: он изменяет задание опережения на фиксированную величину $\Delta\theta_o$, допустим, в сторону уменьшения, до θ_{o1} , которому соответствует точка 1 на кривой выходных сигналов.

После стабилизации режима работы двигателя с новым опережением в блоке сравнения происходит сопоставление нового значения выходного сигнала регулятора частоты с предыдущим хранящимся в памяти. В рассматриваемом примере новое значение оказалось выше исходного, что свидетельствует об увеличении расхода топлива. Поэтому корректором опережения датчикудается команда отменить сделанный шаг поиска,

нения устанавливает нерациональность этого шага, и система возвращается в точку 2, в которой, как выяснилось, опережение оптимально. Таким образом осуществляется поисковая адаптация, обеспечивающая минимум продолжительности впрыскивания и, соответственно, минимальный расход топлива.

На рис. 8.13 представлен пример алгоритма матричного программного управления опережением впрыскивания, а на рис. 8.14 — алгоритм поискового управления опережением по минимуму выходного сигнала регулятора частоты.

Переход с программного на поисковое адаптивное управление производит блок контроля режимов, программно реализуемый в микроконтроллере (см. рис. 8.15).

Блок контроля режимов представляет собой один из программных блоков диспетчера режимов. Он определяет величины отклонений от среднего значения выходного сигнала регулятора частоты в нескольких последовательных циклах. При отсутствии отклонений за пределы, определяемые допустимой неравномерностью частоты вращения и чувствительностью системы к изменению опережения, вместо алгоритма программного управления начинает действовать алгоритм поискового управления. При любом отклонении выходного сигнала регулятора частоты за установленные пределы вступает в действие программный алгоритм.

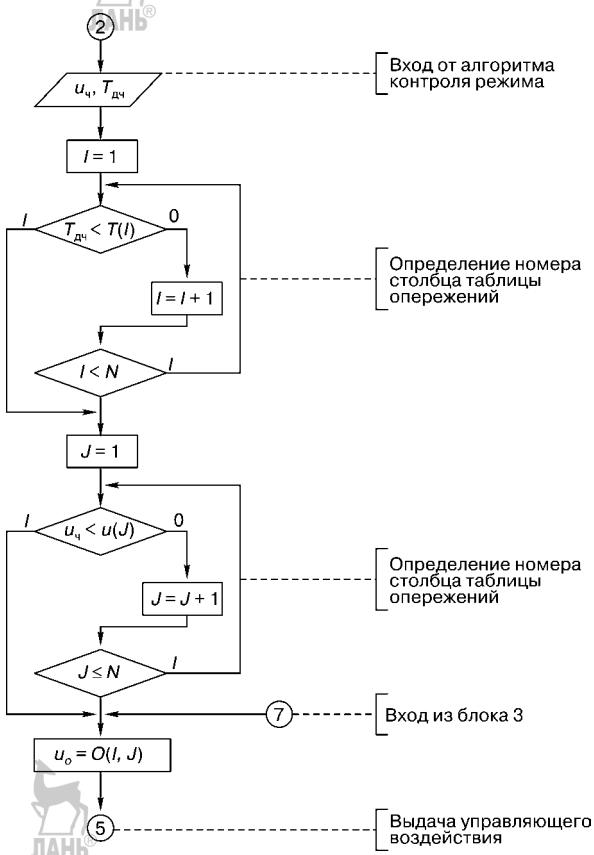


Рис. 8.13
Алгоритм матричного
программного управления
опережением впрыскивания в
функции выходного сигнала
регулятора частоты и
действительного периода
повторения циклов

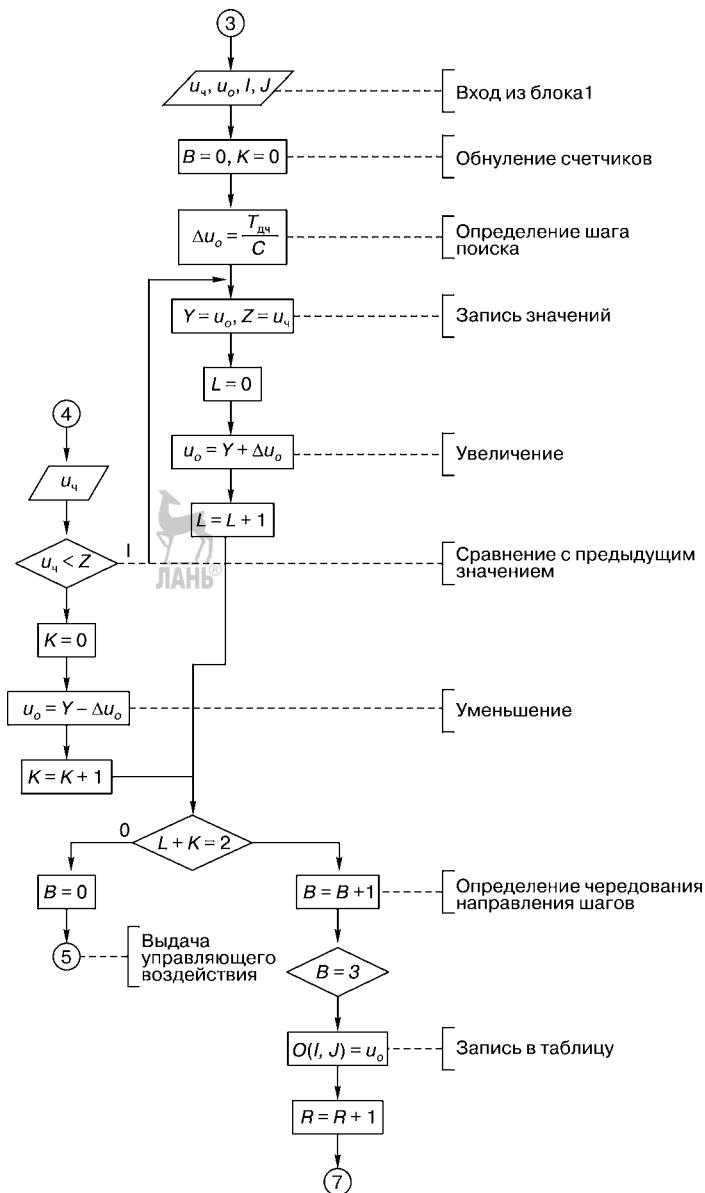


Рис. 8.14
Алгоритм поискового
управления
опережением
впрыскивания по
минимуму выходного
сигнала регулятора
частоты

По завершении процесса поиска оптимального опережения, о чём свидетельствует, например, появление автоколебаний в поисковой системе вблизи экстремума, оптимальное значение выходного сигнала регулятора опережения фиксируется в памяти микроконтроллера. Управление опережением возвращается к программному алгоритму, скорректированному по результатам поиска. Аналитическая адаптация позволяет по этим результатам корректировать программы и для режимов, на которых поиск невозможен.



При сохранении или новом сигнале блока контроля режимов о наличии установившегося режима процедура перехода от программной к поисковой адаптации производится в системе управления другим управляющим воздействием двигателя. Таким образом, последовательно выполняется цикл поисковой адаптации по всем управляющим воздействиям. Циклы могут повторяться непрерывно или с заданной по условиям работы двигателя периодичностью.

8.6. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗООБМЕНОМ

8.6.1. УПРАВЛЕНИЕ НАДДУВОМ

МПСУ рациональна при любых принятых вариантах системы наддува двигателя. В системах с перепуском газов в турбине часто используется двухпозиционное (релейное) управление — клапан полностью открыт или полностью закрыт. Но можно осуществлять и непрерывное управление. Непрерывное пропорциональное управление положением электропневматического перепускного клапана достигается импульсной модуляцией в электромагнитном клапане.

Но наиболее полно МПСУ может быть использована в вариантах с электротурбокомпрессором для программно-поискового адаптивного управления давлением наддува. Такие системы во многом аналогичны адаптивным системам управления опережением впрыскивания топлива. Одна из них представлена на рис. 8.16.

Ведущей является САРЧ. Выходной сигнал регулятора наддува определяет режим работы и нагрузку мотор-генератора. В общем случае оптимальное по расходу топлива давление наддува зависит от частоты вращения, нагрузки двигателя и их производных. При программной адаптации процессов регулирования наддува для оптимизации, например, процесса пуска двигателя необходима адаптация функции теплового состояния двигателя. При наличии в МПСУ датчиков температур в системах двигателя программная адаптация обеспечивает удовлетворительную точность выхода значений давления наддува на величины, близкие к оптимальным. Но влияния других неконтролируемых параметров двигателя, топлива и окружающей среды на оптимальное значение давления наддува программная адаптация не учитывает. Поэтому целесообразно ее дополнение поисковой адаптацией.

В САРДН программную адаптацию по частоте вращения, выходному сигналу регулятора частоты (характеризующему крутящий момент двигателя) и их производным осуществляет программатор в структуре ЗРН. Параметры, с помощью которых осуществляется программная адаптация, органически присутствуют в микроконтроллере двигателя и не требуют установки на двигатель дополнительных датчиков.

Зависимости удельного расхода топлива и выходного сигнала регулятора частоты от давления наддува при постоянном режиме работы двигателя схожи с их зависимостями от опережения впрыскивания (см. рис. 8.12). Минимальные значения этих параметров также приходятся на одну и ту же величину давления наддува, оптимальную по расходу топлива.

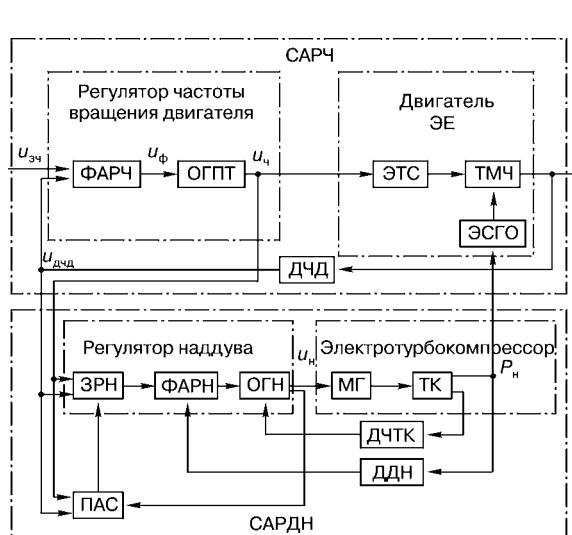


Рис. 8.16
Схема адаптивно-поисковой МПСУ давлением наддувочного воздуха:
САРЧ: ФАРЧ — формирователь алгоритма регулирования частоты вращения двигателя; ОГПТ — ограничитель подачи топлива; ЭТС — электронная топливная система; ТМЧ — тепловая и механическая части двигателя; ЭСГО — электронная система газообмена; ДЧД — датчик частоты вращения двигателя. Система автоматического регулирования давления наддува (САРДН): ЗРН — затворный регулятор давления наддува; ФАРН — формирователь алгоритма регулирования давления наддува; ОГН — ограничитель давления наддува; МГ — обратимый мотор-генератор; ТК — турбокомпрессор; ДЧТК — датчик частоты вращения турбокомпрессора; ДДН — датчик давления наддувочного воздуха; ПАС — поисковая адаптивная система.

В соответствии с программой задатчик давления определяет близкое к оптимальному давление наддува в переходных процессах и при выходе на установившийся режим. После стабилизации режима работы двигателя, выявляемой поисковой адаптивной системой по неизменности частоты вращения и выходного сигнала регулятора частоты вращения двигателя (нахождении их в допустимых пределах), поисковая система подает на ЗРН пробные воздействия, изменяющие заданное значение давления наддува на фиксированную величину (шаг поиска) и, анализируя полученные изменения, выбирает давление наддува, оптимальное по расходу топлива.

Поиск в сторону увеличения давления наддува может быть прекращен и при снижении выходного сигнала регулятора частоты вращения двигателя вследствие очередного шага поиска менее чем на некоторую заданную величину или при выявлении приближения к возможности появления помпажа, обнаруживаемой микроконтроллером по сигналам датчиков частоты вращения турбокомпрессора и давления наддува.

Ограничения в оптимальном управлении электротурбокомпрессором производятся в функции частоты его вращения, давления наддува, частоты вращения и нагрузки двигателя, характеризующих уровни механических напряжений, возможность помпажа и др.

Оптимальное адаптивное управление электротурбокомпрессором реализуется в микроконтроллере двигателя. Регулятор, программно реализуемый в микроконтроллере, управляет режимом и мощностью, получая информацию о частоте вращения двигателя и выходном сигнале регулятора этой частоты. Необходимо также использовать информацию о давлении наддува, которая должна иметься в адаптивной системе управления двигателем, и о нагрузке двигателя, безусловно, присутствующей в системах управления электропередачей автомобиля. Для приближенной, достаточной по требующейся точности оценки нагрузки двигателя можно использовать выходной сигнал регулятора частоты вращения двигателя. При постоянной же мощности двигателя, поддерживаемой автоматически системой управления электрической передачи, этот сигнал характеризует расход топлива, т. е. эффективность рабочего процесса.

В объединенной МПСУ двигателем и электротурбокомпрессором целесообразны программная и поисковая адаптации. Программная обеспечивает близкое к оптимальному управление турбокомпрессором на переходных процессах в функции частоты вращения, нагрузки двигателя и их производных. Также обеспечивается ускоренный выход на оптимальные настройки на установленных режимах, которые периодически осуществляют более точный поиск оптимальных настроек с последующей коррекцией программ адаптации.

8.6.2. УПРАВЛЕНИЕ ВПУСКНЫМИ, ВЫПУСКНЫМИ КАНАЛАМИ И ГАЗОРASПРЕДЕЛЕНИЕМ

Заслонки или клапаны в управляемых впускных и выпускных каналах газообмена могут перемещаться непосредственно электромагнитами или электропневматическими исполнительными механизмами. В случае релейного управления достаточно разомкнутых систем с программной адаптацией.

Непрерывное управление возможно с пропорциональными, достаточно линейными исполнительными механизмами. Для указанных видов управления процессами во впускных и выпускных каналах контроль получаемых в результате параметров воздушного заряда или рабочего процесса затруднен или вообще невозможен. Поэтому для обеспечения необходимой точности, включая идентичность управляемых каналов газообмена всех цилиндров двигателя, в общем случае нужны замкнутые локальные системы регулирования с обратными связями по положению исполнительных механизмов. Для этого последние должны быть оснащены датчиками положения. При достаточной стабильности характеристик этих механизмов можно использовать обратные связи без специальных датчиков непосредственно в микроконтроллере по току (при импульсной модуляции — среднему его значению) в электромагнитах или по числу импульсов при использовании шагового двигателя.

Программное адаптивное управление впускными и выпускными каналами ведется микроконтроллером по выбранным из условий оптимизации рабочего процесса зависимостям положений исполнительных механизмов от положения педали управления двигателя, его состояния и условий работы. В частности, проводится автоматическое отключение системы рециркуляции в зависимости от температуры охладителя при пуске двигателя и на некоторых других режимах.

МПСУ клапанами газораспределения по составу, структуре и алгоритмам управления аналогичны системам управления продолжительностью и опережением впрыскивания топлива, например, в аккумуляторных системах, т. е. не требуют установки на двигатель специальных датчиков для организации обратных связей. Как правило, для них достаточна програмmaticкая адаптация. Но, по крайней мере, в стендовом микроконтроллере необходима и поисковая.

8.7. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРАМИ И МОЩНОСТЬЮ ДВИГАТЕЛЯ

8.7.1. МПСУ ЧИСЛОМ РАБОТАЮЩИХ ЦИЛИНДРОВ

Одним из недостатков существующих двигателей является невозможность изменять форму камеры сгорания и ее параметры при изменении режимов работы двигателя. Камеры сгорания выбирают на основании условий оптимизации рабочего процесса при работе на наиболее важных режимах работы двигателя. Поэтому на холостом ходу и малых нагрузках достижение оптимальности рабочих процессов практически исключено.

В двигателях с искровым зажиганием и внешним смесеобразованием уменьшение нагрузки принципиально ведет к снижению топливной экономичности. Это связано не только со снижением механического КПД двигателя, но и с ростом потерь при дросселировании заряда на впуске и со снижением индикаторного КПД в результате ухудшения процесса сгорания.

Одна из действенных мер преодоления указанных недостатков — отключение части цилиндров на этих режимах. В предельном (наиболее эффектив-

ном варианте) отключается подача топлива и воздуха. Для сохранения температур деталей цилиндропоршневой группы целесообразно чередовать отключение цилиндров. На практике приходится периодически отключать несколько последовательных циклов в чередуемых цилиндрах. Нагрузка оставшихся цилиндров увеличивается, и процессы в них приближаются к оптимальным.

Отключение цилиндров, изредка применяемое в гидромеханических системах управления, не всегда выполняется в полной мере автоматически. Гидромеханические исполнительные механизмы индивидуального управления работой каждого цилиндра конструктивно сложны и ненадежны. Электронные системы топливоподачи и газообмена существенно расширяют возможности регулирования числа работающих цилиндров.

Экспериментальные исследования двигателей позволяют установить оптимальное с точки зрения принятого критерия качества функционирования двигателя число работающих цилиндров на каждом режиме. Поэтому программное управление числом работающих цилиндров в функции частоты вращения и нагрузки двигателя достаточно эффективно.

При наличии датчика нагрузки (или крутящего момента) реализация программного регулирования числа работающих цилиндров не представляет

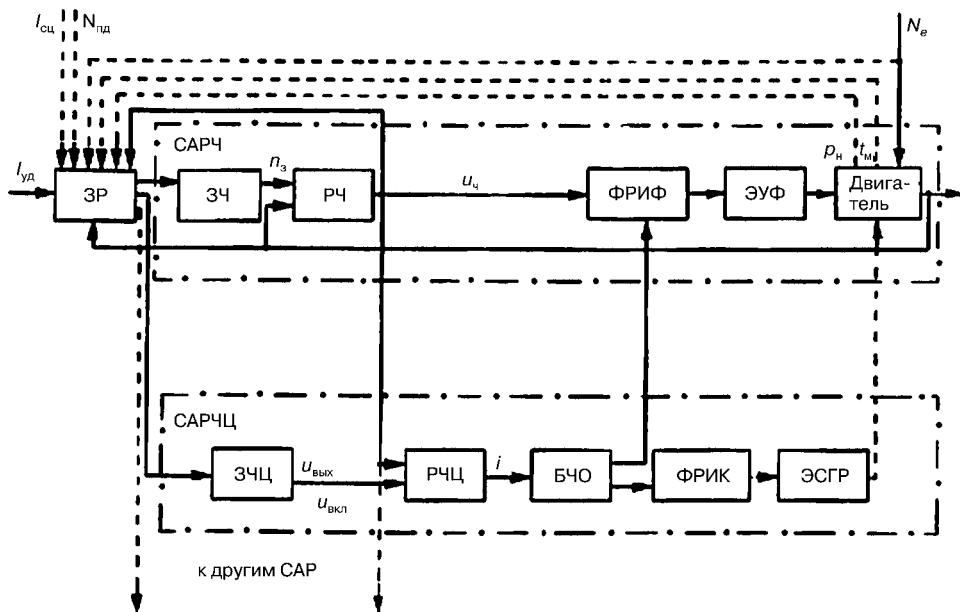


Рис. 8.17
МПСУ числом работающих цилиндров:

ЗР — задатчик режима работы двигателя; САРЧ: ЗЧ — задатчик частоты вращения; РЧ — регулятор числа работающих цилиндров; ФРИФ — формирователь-распределитель командных импульсов форсунок; ЭУФ — электроуправляемые форсунки; САРЦ: ЗЧЦ — задатчик числа работающих цилиндров; РЧЦ — регулятор числа работающих цилиндров; БЧО — блок чередования отключения цилиндров; ФРИК — формирователь-распределитель командных импульсов клапанов газораспределения; ЭСГР — электронная система газораспределения. $I_{уд}$ — положение педали управления двигателем; $I_{ци}$ — положение механизма сцепления; $N_{пп}$ — номер включенной передачи; N_e — нагрузка на двигатель; p_n — давление наддува; t_m — температура масла; $u_{вых}$ — установка выключения цилиндра; $u_{вкл}$ — установка включения цилиндра; i — число работающих цилиндров.

трудностей. Однако регулирование числа работающих цилиндров замкнутыми МПСУ более эффективно. Здесь регулируемым параметром является выходной сигнал регулятора частоты вращения двигателя. Он определяет величину цикловой подачи топлива в работающие (не отключенные) цилиндры. Задача системы — стабилизация подачи топлива путем изменения числа работающих цилиндров.

На рис. 8.17 представлена схема МПСУ дизеля, включающая в качестве основной (ведущей) части САРЧ и систему автоматического регулирования числа работающих цилиндров (САРЧЦ).

Вместо электроуправляемых форсунок могут быть также использованы насосы высокого давления или насос-форсунки. ЗР на основании информации о положении педали управления двигателем, положении механизма сцепления, включененной передаче, нагрузке на двигатель, давлении наддува, температуре, частоте вращения двигателя, а также о выходном сигнале регулятора частоты вращения вырабатывает задания локальным МПСУ, включая САРЧ и САРЧЦ.

На рис. 8.18 представлена пояснительная диаграмма регулирования числа работающих цилиндров.

В нижней ее части показаны зависимости расхода топлива двигателем от нагрузки для разных значений числа работающих цилиндров; в средней — зависимость выходного сигнала регулятора частоты от нагрузки; в верхней — установленное регулятором число работающих цилиндров.

Задатчик числа работающих цилиндров вырабатывает два значения выходного сигнала регулятора частоты $u_{\text{вых}}$ и $u_{\text{вкл}}$, при которых должны производиться выключение и включение цилиндров. Интервал от $u_{\text{вых}}$ до $u_{\text{вкл}}$ выбран на основании необходимости подачи такого количества топлива, которое обеспечило бы в работающих цилиндрах рабочий процесс, достаточно близкий к оптимальному по расходу топлива.

Уставки (заданные значения сигналов, при достижении которых необходимы переключения числа цилиндров) $u_{\text{вых}}$ и $u_{\text{вкл}}$ подаются на вход регулятора числа работающих цилиндров, где с ними сравнивается текущее значение сигнала u_q . Если при работе всех цилиндров нагрузка двигателя снижается до уровня, обозначенного 1, u_q становится равным $u_{\text{вых}}$ и регулятор числа работающих цилиндров подает команду на отключение одного из цилиндров. Эта команда через блок чередования отключений поступает на формирователи-распределители управляющих импульсов форсунок и управляющих импульсов клапанов газораспределения, в результате в выбранный цилиндр не производится подача топлива и воздуха. Тогда работа двигателя переводится с характеристики $i = n$ на характеристику $i = n - 1$, и необходимая мощность двигателя обеспечивается с меньшим расходом топлива.

При дальнейшем снижении нагрузки до уровня 2 текущее значение сигнала u_q вновь становится равным $u_{\text{вых}}$ и регулятор числа работающих цилиндров подает команду на отключение еще одного цилиндра. Двигатель начинает работать по характеристикам $i = n - 2$ с еще меньшим расходом топлива.

При большем снижении нагрузки аналогично производятся переходы на режимы $i = n - 3$, $i = n - 4$ и т. п.

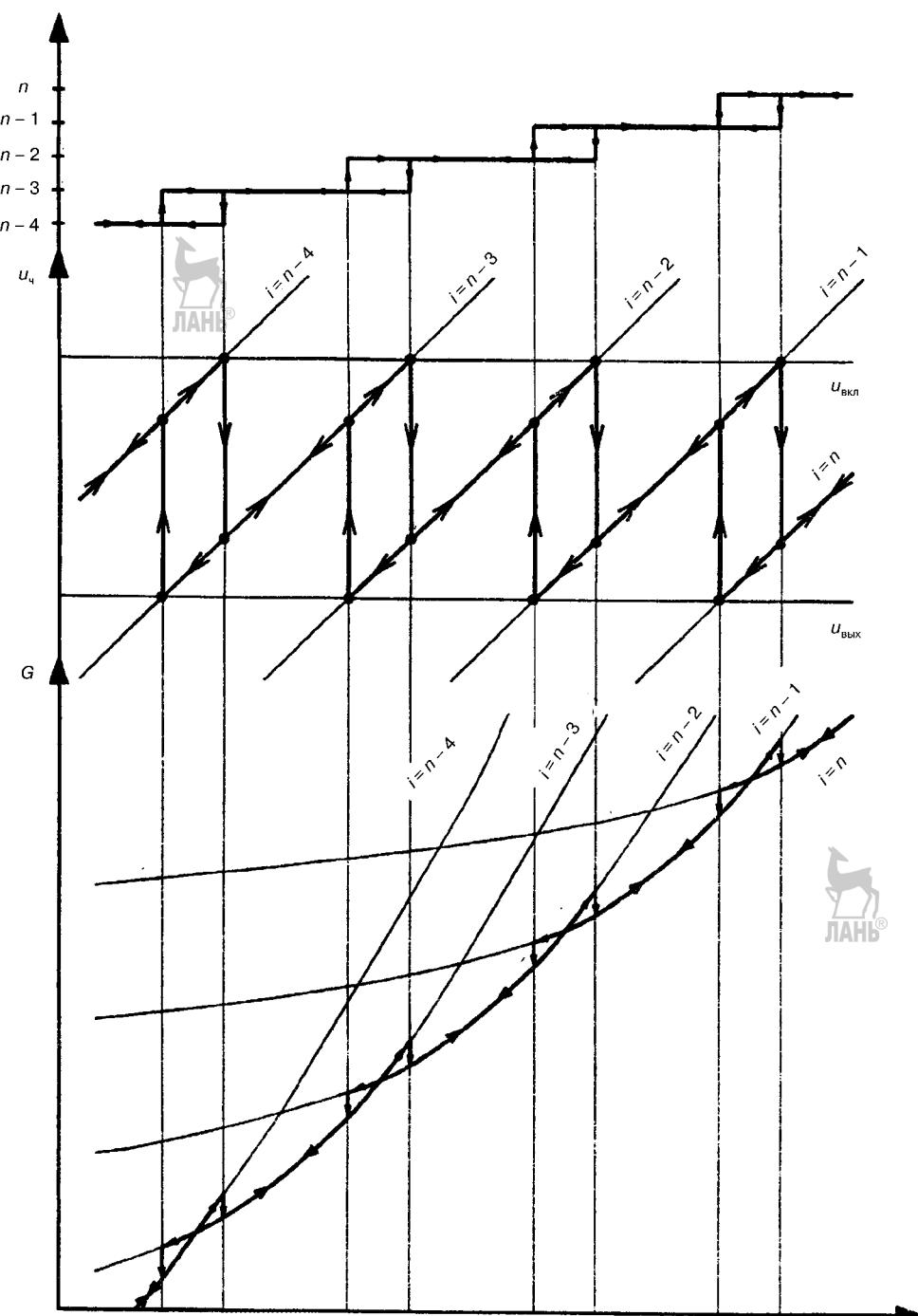


Рис. 8.18
Диаграмма регулирования числа работающих цилиндров:

i — число работающих цилиндров; n — общее число цилиндров двигателя; $u_{\text{вых}}$ — уставка выключения цилиндра; $u_{\text{вкл}}$ — уставка включения цилиндра; G — расход топлива.

Если же нагрузка двигателя, например, из точки 2 начинает увеличиваться, то сигнал $u_{\text{вых}}$, изменяющийся по характеристике $i = n - 2$ при нагрузке двигателя, обозначенной 2', становится равным $u_{\text{вкл}}$. При этом регулятор числа работающих цилиндров включает один из выключенных цилиндров. Двигатель начинает работать по характеристикам $i = n - 1$, где увеличенная мощность обеспечивается с меньшим расходом топлива. Включение в работу оставшегося невыключенным цилиндра производится аналогично при увеличении нагрузки двигателя до уровня 1'.

Разность уставок $u_{\text{вых}}$ и $u_{\text{вкл}}$ выбирается из условия исключения автоколебаний в системе регулирования числа работающих цилиндров. Необходимо, чтобы режимы нагрузок двигателя в точках 1 и 1', 2 и 2', 3 и 3', 4 и 4' и т. д., определяемые разностью $u_{\text{вых}}$ и $u_{\text{вкл}}$, были не меньше размаха колебаний нагрузки двигателя в установившихся режимах вблизи соответствующих точек переключения.

МПСУ числом работающих цилиндров представляет собой релейную систему автоматической стабилизации выходного сигнала регулятора частоты. Но в результате ее действия снижается расход топлива. Для более полного повышения эффективности работы двигателя величины $u_{\text{вых}}$ и $u_{\text{вкл}}$ могут программно-адаптивно изменяться в функции числа работающих цилиндров, частоты вращения двигателя, параметров наддувочного воздуха, состояний других агрегатов энергетической установки и температурного состояния двигателя. При этом зависимости $u_{\text{вых}}$ и $u_{\text{вкл}}$ в функции N_e нелинейны и неоднозначны.

Чередование отключения цилиндров, осуществляющееся блоком чередования отключений, целесообразно для выравнивания условий работы всех цилиндров. При этом МПСУ числом работающих цилиндров становится близкой к системе управления частотой вращения двигателя, действующей путем отключения циклов. С другой стороны, разделение функций регулирования частоты вращения и числа работающих цилиндров обеспечивает сохранение высокого качества регулирования частоты вращения в переходных процессах и на установившихся режимах и достижение более высокого уровня оптимизации рабочего процесса в работающих цилиндрах.

8.7.2. МПСУ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ЦИЛИНДРАМИ

Цель регулирования распределения нагрузки цилиндров в дизелях — повышение эффективности работы двигателей за счет приближения к оптимальному воздушно-топливному отношению в каждом из цилиндров. Регулирование нагрузки достигается и изменением числа работающих цилиндров (циклов) двигателя. Оно дополняется регулированием распределения нагрузки между работающими цилиндрами (уменьшение неравномерности). Оба пути обеспечивают улучшение качества рабочего процесса по сочетанию экономических и экологических показателей.

Регулирование равномерности распределения нагрузки цилиндров обычно осуществляется вручную при сдаточных испытаниях двигателя или в эксплуатации. В адаптивных МПСУ такое регулирование может проводиться автоматически непрерывно или периодически в любых условиях и с высо-

кой точностью. Непременный компонент регулирования нагрузки — электронные топливные системы. В импульсных электронных топливных системах основной электрогидравлический преобразователь — например, электроуправляемые форсунки — одновременно выполняет функцию исполнительного механизма систем регулирования частоты вращения двигателя и регулирования нагрузки.

МПСУ равномерности распределения нагрузки работающих цилиндров или отклонений нагрузки работающих цилиндров от среднего значения лучше использовать во всем диапазоне режимов работы двигателя как в сочетании с системой управления числом работающих цилиндров, так и без нее.

Распределение нагрузки по цилиндрам конкретного образца двигателя в различных условиях работы имеет случайный характер. Поэтому регулирование распределения нагрузки по жестким, однократно установленным программам не гарантирует достижение желаемого эффекта. Предпочтительнее непрерывное или периодическое определение неравномерности нагрузок цилиндров непосредственно на каждом конкретном работающем двигателе.

Более целесообразны системы, использующие метод принудительного периодического кратковременного отключения цилиндров путем прекращения подачи топлива, а при возможности — и воздуха. Доля нагрузки, которую нес отключенный цилиндр, может быть оценена последовавшим в результате действия регулятора частоты вращения максимальным или установившимся отклонением этой частоты. Доля нагрузки отключенного цилиндра может быть оценена по максимальному отклонению частоты в переходном процессе, вызванному отключением конкретного цилиндра. При этом необходимы высокая точность определения максимального отклонения, а также специальная методика исключения систематических и случайных помех.

Более удобен для реализации способ оценки доли нагрузки отключенного цилиндра по изменению выходного сигнала регулятора частоты из-за отключения подачи топлива в этот цилиндр.

Эксперимент по определению равномерности нагрузки наиболее удобно вести в установившихся режимах. Для этого в составе МПСУ распределением нагрузки между цилиндрами, представленной на рис. 8.19, также необходим блок контроля режимов БКР, оценивающий постоянство частоты или выходного сигнала регулятора частоты за заданное число циклов работы двигателя.

По сигналу блока контроля режимов, формируемому при постоянстве выходного сигнала регулятора частоты, значение выходного сигнала фиксируется в БП₁. Блок отключения цилиндров через формирователь-распределитель поочередно выключает подачу топлива форсунками. Установившееся после отключения очередного цилиндра значение выходного сигнала регулятора частоты сравнивается в БС₁ с исходным, зафиксированным в БП₁. Выявленная величина изменения выходного сигнала фиксируется в БП₂ и суммируется с изменениями, выявленными при отключении других цилиндров. По окончании цикла отключений цилиндров двигателя итоговое значение из сумматора делится на число работающих в заданном режиме цилиндров. В результате определяется среднее по всем проверенным цилиндрам значение изменений выходного сигнала регулятора частоты.

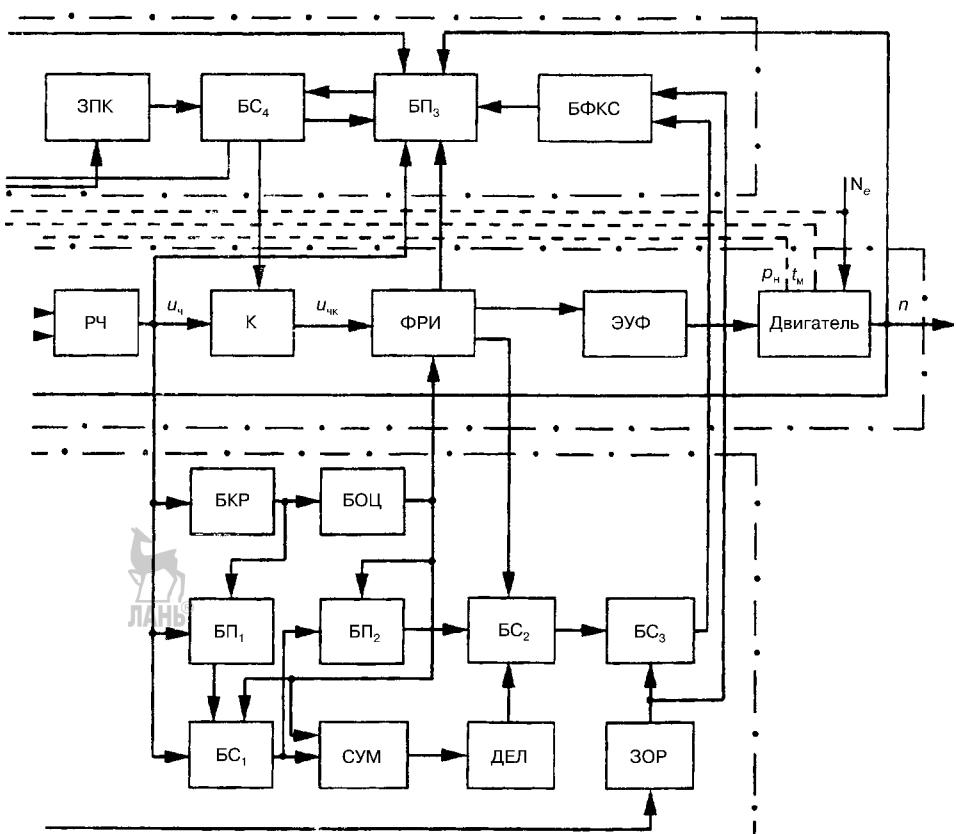


Рис. 8.19

МПСУ распределением нагрузки между работающими цилиндрами двигателя:

К — корректор выходных сигналов; ФРИ — формирователь распределения нагрузки между работающими цилиндрами двигателя; СИОН — система измерения отклонений нагрузок цилиндров от среднего значения; БКР — блок контроля режимов; БОЦ — блок отключения цилиндров; СУМ — блок суммирования; ДЕЛ — блок деления; ЗОР — задатчик оптимального по сочетанию равномерности распределения нагрузок и запаса устойчивости к автоколебаниям предела отклонения нагрузок; БП₁₋₃ — блоки памяти; БС₁₋₄ — блоки сравнения; ЗПК — задатчик предельно допустимых уровней коррекции; БФКС — блок формирования корректирующих сигналов; N_e — нагрузка на двигатель; p_n — давление наддува; t_m — температура масла; u_u — выходной сигнал регулятора частоты; $u_{\text{чк}}$ — выходной сигнал регулятора частоты с коррекцией подач.

В БС₂ определяются для каждого цилиндра отклонения изменения выходного сигнала регулятора частоты, зафиксированного в БП₂ от среднего значения. Каждое из отклонений в БС₃ сравнивается с заданным допустимым отклонением, соответствующим оптимальной для конкретного режима работы двигателя неравномерности нагрузки цилиндров. Для цилиндров, отклонение у которых больше заданного, блок-формирователь создает шаг корректирующего воздействия, который для исключения автоколебаний должен быть менее заданного допустимого отклонения.

Шаг корректирующего воздействия для каждого цилиндра в БП₃ суммируется с накопленными, ранее корректирующими воздействиями для конкретного режима работы двигателя, определяемыми текущими значения-

ми частоты вращения и выходного сигнала регулятора частоты. Суммарное значение корректирующего воздействия по конкретному цилинду сравнивается в БС₄ с предельно допустимым уровнем коррекции, поступающим из ЗПК.

Если по некоторому цилинду окажется, что суммарная коррекция превосходит допустимый предел, корректирующее воздействие по этому цилинду ограничивается предельно допустимым значением, а информация поступает в систему контроля и диагностирования двигателя. Она используется как свидетельство нарушений в цилиндре, выходящих за пределы возможной автоматической коррекции и требующих оценки исправности деталей конкретного цилиндра. Процедура поиска и коррекции нагрузки цилиндров представляет собой и активное диагностирование, выполняемое без применения специальных диагностических датчиков.

Допустимое же значение коррекции поступает в корректор выходных сигналов регулятора частоты, где в цикле формирования подачи в конкретный цилиндр суммируется с выходным сигналом регулятора частоты.

Введение корректирующих поправок к выходному сигналу регулятора частоты по выявленной излишней неравномерности нагрузки цилиндров представляет собой шаговую итерационную процедуру в системе коррекции с контролем неравномерности после каждого цикла оценки неравномерности и коррекции. В каждом цикле корректирующие сигналы по каждому цилинду суммируются. Процесс коррекции заканчивается после достижения оптимальной равномерности распределения нагрузок.

Такая МПСУ распределением нагрузки цилиндров представляет собой поисковую адаптивную систему. Окончательные значения корректирующих сигналов для каждого цилиндра в исследованном режиме, накопленные в БП₃, обеспечивают программное адаптивное регулирование равномерности распределения (отклонений) нагрузки в паузах между циклами регулирования равномерности распределения нагрузки и в переходных процессах.

Главная особенность описанных вариантов МПСУ числом работающих цилиндров и МПСУ равномерностью распределения нагрузки — использование алгоритмов, не требующих введения в систему дополнительных устройств, кроме используемых в САРЧ. Поставленные цели достигаются только алгоритмическими средствами на основе имеющейся в САРЧ рабочей информации.

В двигателях с искровым зажиганием анализ равномерности работы цилиндров применяется в основном с целью диагностирования состояния систем топливоподачи, газообмена и цилиндропоршневых групп.



8.7.3. МПСУ МОЩНОСТЬЮ ДВИГАТЕЛЯ

В бензиновых двигателях, где применяются гомогенные топливовоздушные смеси для регулирования мощности, в основном используют изменение количества рабочей смеси. Для этого водитель с помощью педали, механически связанной с дроссельной заслонкой, меняет ее положение, воздействуя тем самым на плотность и массу смеси, поступающей в цилиндры.

Для автоматизации управления мощностью с помощью МПСУ механическая связь педали с дроссельной заслонкой разрывается. На педали устанавливается датчик углового положения педали, определяющий угол открытия заслонки. Дроссельная заслонка управляет электрическим или электро-пневматическим приводом. Схема такого управления показана на рис. 8.4. При электронном управлении заслонкой возможно и автоматическое поддержание мощности двигателя для сохранения заданной частоты вращения двигателя или скорости движения автомобиля. С этой целью на педали водителя устанавливается датчик частоты вращения двигателя (или скорости движения автомобиля), а в микроконтроллер вводится сигнал обратной связи о частоте вращения двигателя или скорости движения автомобиля. Схема такого управления приведена на том же рисунке.

В бензиновых двигателях с непосредственным впрыскиванием топлива в цилиндр есть возможность организовать направленное расслоение заряда, что обеспечивает сжигание бедных смесей. Однако в этих двигателях при полной нагрузке, а иногда и на некоторых других режимах приходится переходить к сжиганию гомогенной смеси. Поэтому не удается во всех рабочих режимах использовать одинаковый метод управления мощностью. При работе на гомогенной смеси для управления мощностью применяется количественный метод, а при сжигании расслоенных зарядов изменяется величина цикловой подачи топлива одновременно с изменением расслоения заряда. На некоторых режимах приходится одновременно менять и количество поступающей смеси, и ее состав.

В дизелях изменение мощности двигателя при постоянной частоте вращения вала достигается изменением цикловой подачи топлива регулятором частоты вращения. В МПСУ создаются возможности автоматического регулирования собственно мощности, наиболее просто реализуется так называемый двигатель постоянной мощности. Для этого МПСУ изменяет задание регулятору частоты вращения соответственно вычисляемому в ней крутящему моменту.

Несравненно более широкие возможности управления мощностью имеются в МПСУ дизель-генераторов автомобилей с электрическими передачами. В ней действуют локальные системы регулирования частоты вращения и мощности дизель-генератора. Мощность (нагрузка двигателя) регулируется изменением возбуждения генератора. В переходных процессах регуляторам частоты и нагрузки выдаются согласованные программы изменения заданий. В частности, полностью алгоритмическими средствами достичь оптимальный по длительности и расходу топлива процесс разгона и нагружения. В установленныхся режимах каждому заданному значению мощности поисковой адаптацией выбирается оптимальная по расходу топлива частота вращения.

8.7.4. МПСУ ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПОДАЧИ ТОПЛИВА

В общем случае цель ограничений — исключение режимов

- с механическими и термическими перегрузками двигателя;
- с заведомо излишней подачей топлива;
- с недопустимыми:



- выбросами в атмосферу;
- уровнями шума;
- вибрацией.

В алгоритмах управления (желательно во всех) должны учитываться ограничения как на управляемые параметры, так и на управляющие воздействия двигателя. В двигателях с обычными механическими системами действует один, максимум два ограничивающих параметра, притом с большим запасом по величине ограничения. В МПСУ количество ограничивающих параметров может быть увеличено до любого необходимого уровня.

На рис. 8.20 представлена методика формирования ограничений крутящего момента двигателя.

Показанные на рисунке кривые ограничивают величину крутящего момента по различным техническим (прочность, износы), экономическим, экологическим и другим параметрам. Ограничения осуществляются по минимальным ординатам совокупности кривых, результирующая кривая ограничений отмечена штриховкой. Набор кривых (ограничивающих параметров), которые надо принимать во внимание, различен при разных условиях работы двигателя.

Набор учитываемых ограничений изменяется автоматически в МПСУ по контролируемым воздействиям или водителем в зависимости от условий эксплуатации (центр города, загородное шоссе или аварийная ситуация).

В итоге ограничения реализуются в виде максимально допустимой цикловой подачи топлива. При раздельном управлении параметрами впрыскивания топлива оно распадается на согласованные ограничения продолжительности, давления и формы характеристики впрыскивания. При применении МПСУ в каждом конкретном случае эти ограничения минимальны по величине и регулируются с большой точностью.

Для программного адаптивного управления ограничениями необходима информация о значительно большем числе параметров и условиях работы двигателя, что трудно осуществимо. Поэтому более целесообразна поисковая адаптация в управлении ограничением подачи топлива. Она выполнима на установленных режимах, например, путем шагового прибавления подачи топлива в один из цилиндров и оценкой величины уменьшения выходного сигнала регулятора частоты вращения двигателя, вызванного каждым пробным шагом и снижающим подачу топлива в остальные цилиндры для поддержания заданной частоты вращения. При достаточно больших подачах в результате снижения воздушно-топливного отношения эффективность сгорания очередных прибавок подач топлива в выбранный цилиндр будет снижаться и соответственно уменьшаться необходимые изменения в выходном сигнале регулятора.

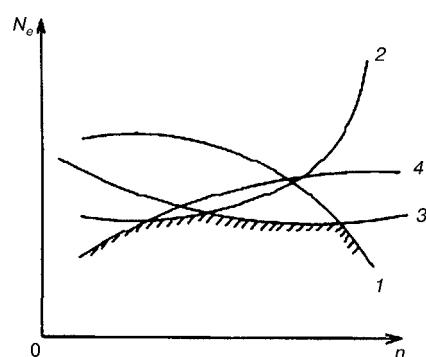


Рис. 8.20
Формирование ограничений крутящего момента двигателя:
1–4 — ограничения по разным параметрам.

Снижение реакции регулятора до некоторого заданного минимального уровня будет свидетельствовать о том, что при имеющемся давлении наддувочного воздуха подача топлива в выбранный для поискового эксперимента цилиндр достигла предела по эффективности сгорания. Суммарное значение сигнала, определяющее подачу топлива в опытный цилиндр, и представляет собой ограничение выходного сигнала регулятора частоты по качеству сгорания топлива для конкретных параметров двигателя и условий его работы.

Адаптация при управлении ограничениями осуществима не только программными и поисковыми системами, возможна аналитическая адаптация, например в системах с моделью. По полученным результатам поисковой адаптации аналитическим путем могут быть скорректированы ограничения подачи топлива и для других параметров, а также условий работы двигателя. Не исключено и сочетание программной, поисковой и аналитической адаптаций.

Все установленные поправки реализуются в программной адаптации. В результате повышения точности управления ограничениями подачи топлива в процессах разгона и повышения нагрузки на двигатель может быть реализован больший крутящий момент без опасности выхода за допустимые значения основных управляемых параметров двигателя и при сохранении его надежности. Соответственно снижается необходимый запас мощности по погрешностям ограничения подачи топлива.



9

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

9.1.

МПСУ АВТОМОБИЛЕМ ГАЗ-3110 (-310221) С ДВИГАТЕЛЕМ ЗМЗ-4062.10

9.1.1. КОНТРОЛЛЕР МИКАС 5.4

Микропроцессорный блок управления МИКАС 5.4 предназначен для:

- формирования длительности импульсов электрического тока при работе электромагнитных форсунок подачи топлива;
- формирования импульсов электрического тока при работе катушек зажигания с учетом необходимого угла опережения зажигания;
- управления работой регулятора добавочного воздуха;
- включения электрического бензонасоса;
- управления работой двигателя в резервном режиме (в случае выхода из строя отдельных элементов системы);
- контроля и самодиагностики неисправностей системы.

Устройство установлено под приборной панелью справа. Основным его элементом является микропроцессор, который производит вычисления и выработку всех необходимых данных, обеспечивающих работу двигателя. Блок управления работает в комплекте с:

- датчиками: положения коленчатого вала, положения распределала, массового расхода воздуха, положения дроссельной заслонки, детонации, температуры охлаждающей жидкости, температуры воздуха во впускной системе;
- электромагнитными форсунками;
- катушками зажигания;
- регулятором добавочного воздуха;
- контрольной лампой;
- реле электробензонасоса;
- разгрузочным реле.

Комплексная система управления двигателем работает следующим образом. При включении зажигания в комбинации приборов загорается и гаснет контрольная лампа, это

означает, что система исправна и готова к работе. Блок управления через реле выдает команду на включение электробензонасоса, который создает давление бензина в топливопроводе форсунок.

При прокрутке двигателя стартером по сигналам датчика положения коленчатого вала блок управления выдает электрические импульсы для подачи топлива через все форсунки и определяет, в какую катушку необходимо подавать электрические импульсы для запуска. После запуска двигателя блок управления переходит на режим подачи топлива через форсунки в соответствии с порядком работы цилиндров двигателя.

Чтобы определить оптимальное количество топлива и угол опережения зажигания, блок управления использует данные датчиков температуры (охлаждающей жидкости и воздуха), расхода воздуха, положения дроссельной заслонки, детонации, числа оборотов и данные, заложенные в его память. Блок управления обеспечивает оптимальную подачу топлива и угла опережения зажигания для каждого режима и условий работы двигателя, непрерывно корректируя выходные данные по изменяющимся сигналам датчиков.

В случае выхода из строя определенных датчиков или их цепей блок управления переходит на резервный режим работы, используя данные, заложенные в его память (на приборной панели загорается контрольная лампа). Такой режим позволяет эксплуатировать автомобиль до проведения квалифицированного ремонта. Однако ухудшает приемистость, повышает токсичность и увеличивает расход топлива.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ФОРСУНКИ

Форсунки 0280 150 711 или 19.1132010 служат для впрыска дозированного количества топлива в цилиндры двигателя. Дозирование количества топлива зависит от длительности электрического импульса, подаваемого в обмотку электромагнита форсунки блоком управления. Длительность электрического импульса зависит от работы двигателя, а также от других факторов (например, температуры двигателя, нагрузки и т. д.).

Подача топлива форсунками строго синхронизирована с положением поршней в цилиндрах двигателя.

Форсунки установлены во впускной трубе двигателя.

Подвод топлива к форсункам осуществляется через топливопровод, в котором поддерживается давление топлива в пределах 2,8–3,25 кг/см при работе двигателя. Устройство форсунки показано на рис. 9.1.

Форсунка представляет собой высокоточное электромеханическое устройство (клапан). Топливо под давлением поступает в фильтр 12 и далее через систему каналов проходит к запорному клапану. Пружина 15 поджимает иглу клапана к конусному отверстию корпуса распылителя 17, удерживая клапан в закрытом состоянии. При подаче на обмотку катушки электромагнита электрического импульса создается магнитное поле, которое притягивает сердечник 16, а вместе с ним иглу запорного клапана. Отверстие в корпусе распылителя открывается и топливо под давлением в распыленном состоянии поступает в цилиндр двигателя. После прекращения электрического импульса пружина возвращает сердечник в исходное положение, а вместе с ним и

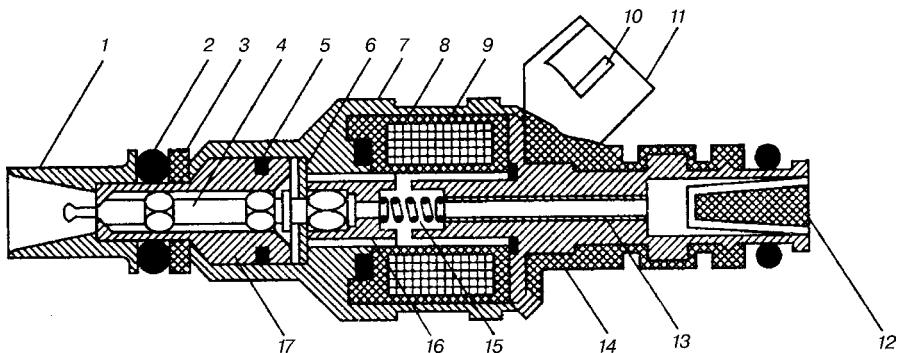


Рис. 9.1
Устройство электромагнитной форсунки:

1 — насадка распылителя; 2 — уплотнительное кольцо; 3 — шайба; 4 — игла клапана; 5 — уплотнитель; 6 — ограничительная шайба; 7 — корпус; 8 — изолятор; 9 — обмотка электромагнита; 10 — штекер; 11 — колодка; 12 — фильтр; 13 — трубка; 14 — крышка; 15 — пружина; 16 — сердечник электромагнита; 17 — корпус клапана-распылителя.

запорную иглу клапана. При этом подача топлива прекращается. Клапан форсунки должен быть герметичным. При необходимости герметичность форсунки можно проверить, подав в нее давление в 3,0 кг/см, а насадку распылителя форсунки опустить в керосин. Сопротивление обмотки форсунки должно быть 15,5–16 К. При кратковременной подаче напряжения 12 В на выводы форсунки должен быть слышен отчетливый «щелчок» — форсунка открылась, если нет — поменяйте полярность. Если опять не сработала — значит, она неисправна. Неисправные форсунки подлежат замене.

ДАТЧИК (СИНХРОНИЗАЦИИ) ПОЛОЖЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ

Индуктивный датчик 0 261 210 113 фирмы Bosch предназначен для определения углового положения коленчатого вала двигателя, синхронизации работы блока управления с рабочим процессом двигателя и определения частоты его вращения. Он установлен в передней части двигателя с правой стороны и представляет собой индуктивную катушку 1 с магнитом 3 и сердечником 7 (см. рис. 9.2).

Датчик работает совместно с зубчатым диском синхронизации 8, установленном на шкиве коленчатого вала. Прохождение зубьев диска мимо торца сердечника вызывает изменение магнитного потока в датчике, способствуя возникновению переменного электрического тока в катушке датчика. Возникающее переменное напряжение передается в блок управления, который обрабатывает их с другими сигналами датчиков и формирует параметры электрических импульсов для работы форсунок и катушек зажигания.

Диск синхронизации имеет 60 зубьев, два из которых удалены: этот пропуск служит точкой отсчета датчику и блоку управления. Когда поршень первого цилиндра находится в ВМТ, перед сердечником датчика должна быть середина 20-го зуба (считать от места отсутствующих зубьев против вращения диска).

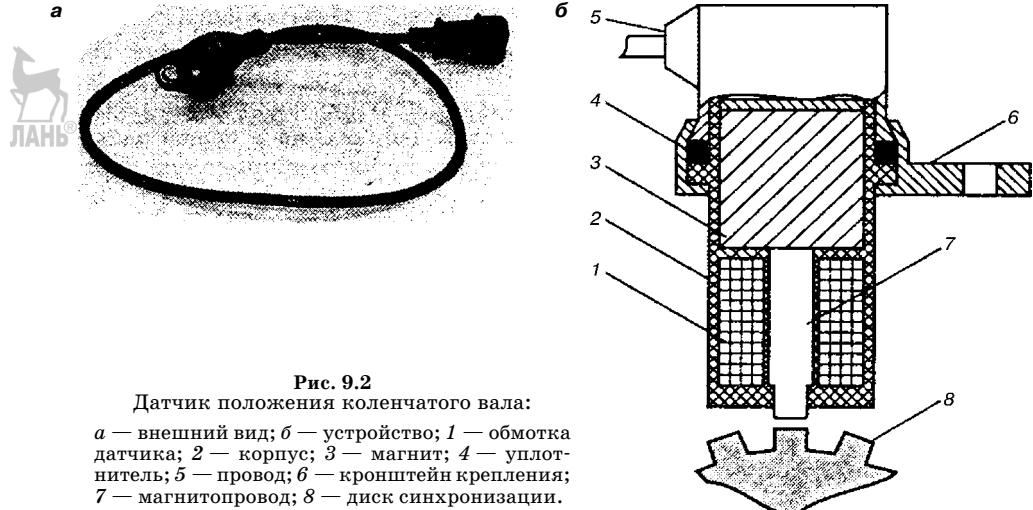


Рис. 9.2
Датчик положения коленчатого вала:

a — внешний вид; *б* — устройство; 1 — обмотка датчика; 2 — корпус; 3 — магнит; 4 — уплотнитель; 5 — провод; 6 — кронштейн крепления; 7 — магнитопровод; 8 — диск синхронизации.

При выходе из строя датчика положения коленвала, его электроцепей или диска синхронизации прекращается работа системы зажигания и соответственно двигателя.

Исправность датчика можно проверить омметром (сопротивление катушки датчика должно находиться в пределах 85–90 К) или вольтметром: исправный датчик должен реагировать на отвертку, поднесенную к его торцу, скачком напряжения. Зазор между сердечником датчика и зубьями диска синхронизации должен быть в пределах $1\pm0,5$ мм.

Более качественную проверку исправности датчика необходимо производить прибором DST-2 при прокрутке двигателя стартером. Неисправный датчик подлежит замене.

ДАТЧИК (ФАЗЫ) ПОЛОЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ

Датчик положения распределительного вала ДС-1 предназначен для определения ВМТ поршня первого цилиндра при такте сжатия.

Датчик установлен на головке цилиндров (у четвертого цилиндра, рис. 9.1) и представляет собой электронное устройство, работающее на эффекте Холла. При прохождении мимо торца датчика металлической пластины, установленной на распределительном валу, происходит изменение магнитного потока датчика. Это вызывает появление в датчике электрического сигнала, который усиливается и передается в блок управления (рис. 9.3).

Сигналы датчика положения распределительного вала и положения коленчатого вала, обработанные в блоке управления, позволяют синхронизировать подачу топлива форсунками в каждый цилиндр двигателя (только при такте сжатия).

Третий вывод датчика предназначен для подсоединения экрана (экранирующей оплетки, подключенной к «массе»), охватывающего два основных провода.

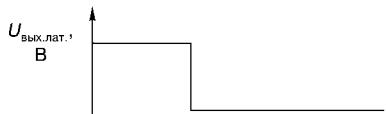


Рис. 9.3
Форма сигнала, выдаваемая датчиком фазы

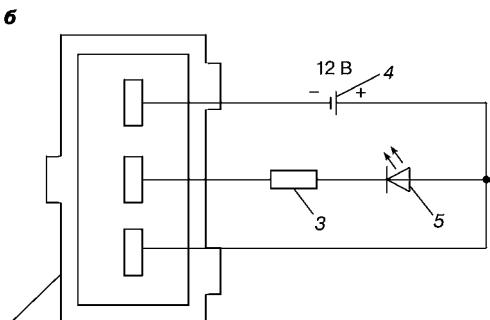
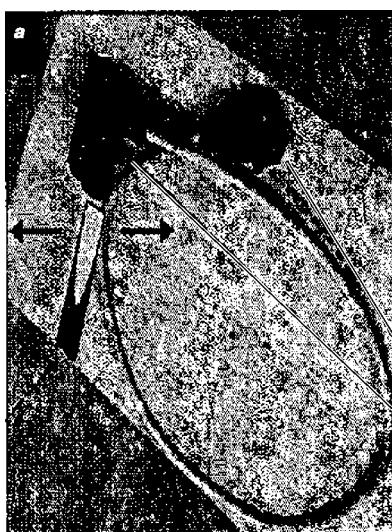


Рис. 9.4
Датчик фазы:

а — внешний вид; б — электрическая схема проверки: 1 — датчик; 2 — штекерная колодка датчика; 3 — резистор сопротивлением K50 + K60; 4 — аккумуляторная батарея; 5 — светодиод АЛ307АМ.

При выходе из строя датчика положения распределительного вала или его цепей блок управления включает контрольную лампу и переходит на резервный режим — попарно-параллельной подачи топлива, когда каждая форсунка срабатывает в два раза чаще (некоторые блоки запрограммированы на подачу топлива одновременно во все цилиндры двигателя). Понять это можно по возросшему расходу топлива. Еще один признак неисправности — могут быть сбои в работе системы диагностики.

Исправность датчика положения распределительного вала можно проверить, собрав схему (рис. 9.4).

Перемещение металлической пластины (отвертки) 6 мимо торца датчика должно вызывать кратковременное свечение светодиода.

ДАТЧИК МАССОВОГО РАСХОДА ВОЗДУХА

Датчик (расходомер) массового расхода воздуха ИВКШ 407282000 (или Bosch 0 261 30 004, см. рис. 9.5) термоанемометрического типа предназначен для определения количества воздуха, идущего на заполнение цилиндров во время работы двигателя.

Его устанавливают во впускной системе после воздушного фильтра.

Устройство датчика показано на рис. 9.6.

В корпусе 8 имеется кольцо 1, внутри которого расположены чувствительный элемент 2 в виде платиновой нити диаметром 0,07–0,1 мм и термоизолирующий резистор 3, включенные в мостовую схему электронного



Рис. 9.5
Внешний вид датчика Bosch 0 261 30 004

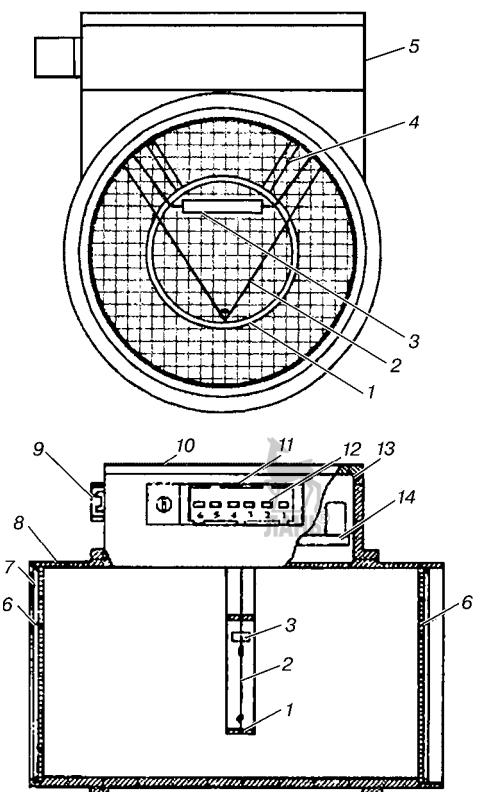


Рис. 9.6
Датчик массового расхода воздуха
ИВКШ 407282000:

1 — кольца; 2 — платиновая нить; 3 — термо-компенсационное сопротивление; 4 — кронштейн крепления кольца; 5 — корпус электронного модуля; 6 — предохранительная сетка; 7 — стопорное кольцо; 8 — корпус датчика; 9 — винт регулировки СО; 10 — крышка; 11 — колодка; 12 — клеммы; 13 — уплотнитель; 14 — электронный модуль.

модуля 14 датчика. Эта схема поддерживает температуру платиновой нити порядка 150°C. Во время работы двигателя воздух, засасываемый в цилиндры двигателя, проходит через корпус 8 и кольцо 1, охлаждая платиновую нить.

Электрическая мощность, затрачиваемая на поддержание температуры нити на прежнем уровне, является параметром для определения количества проходящего через датчик воздуха.

Так как температура платиновой нити зависит и от температуры проходящего воздуха, термокомпенсационный резистор 3 (определеняющий температуру проходящего воздуха) вносит соответствующую коррекцию в режим работы электронного модуля.

Сигналы датчика поступают в блок управления, обрабатываются и используются для определения оптимальной длительности электрических импульсов, для открытия форсунок (определяется необходимое количество топлива с учетом имеющегося количества воздуха).

С целью исключить загрязнение платиновой нити в электронном модуле предусмотрена кратковременная подача на нее повышенного напряжения для разогрева до 1000°C (режим прожига).

В электронном модуле имеется переменный резистор, с помощью которого можно провести регулировку (винт 9) концентрации окиси углерода в отработанных газах в режиме работы двигателя на холостом ходу.

При возникновении неисправностей датчика или его цепей блок управления переходит на резервный режим работы по данным, занесенным в память блока. При этом блок управления, реагируя на отказ датчика, «позд-

нит» зажигание на 10–12°. В начале разгона отклик на педаль газа может даже улучшиться, но потеряет былую резвость на режимах максимальной мощности и крутящего момента. Увеличится расход топлива. Поскольку в датчике установлен СО-потенциометр (заменяющий датчик кислорода в системах без нейтрализатора), выхлоп станет грязнее.

О возникшей неисправности датчика массового расхода воздуха блок управления сигнализирует включением контрольной лампы.

Исправность датчика можно проверить, собрав схему, показанную на рис. 9.7.

Подсоединяя провода, следует ориентироваться по выступам на колодке разъема. При подключении источника питания вольтметр 5 должен показывать 1,3–1,4 В, а при кратковременном включении выключателя 3 — максимум 8 В. Платиновая нить 2 (рис. 9.6) при этом должна разогреваться докрасна.

Более качественную проверку датчика необходимо производить при работе двигателя прибором DST-2. Неисправный датчик массового расхода воздуха подлежит замене.

ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ ДРОССЕЛЬНОЙ ЗАСЛОНКИ

Датчик 0 280 122 001 или НРКТ-8 предназначен для определения положения дроссельной заслонки по величине падения напряжения на переменном сопротивлении датчика, которое поступает в блок управления для обработки.

Данные о положении дроссельной заслонки (полностью закрыта, частично открыта или полностью открыта) необходимы блоку управления для расчета длительности электрических импульсов управления форсунками и определения оптимального угла опережения зажигания.

Датчик установлен на корпусе узла дроссельной заслонки и механически соединен с осью дроссельной заслонки (рис. 9.1). Он представляет собой сдвоенное переменное сопротивление, выполненное на керамической подложке. Устройство и электрическая схема показаны на рис. 9.8.

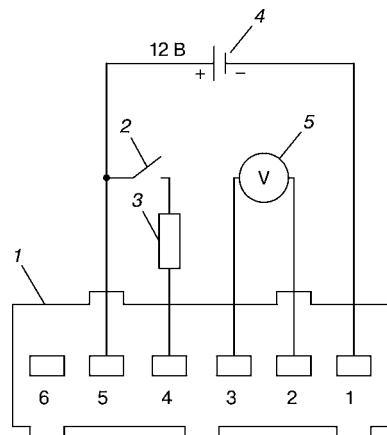


Рис. 9.7
Электрическая схема проверки датчика массового расхода воздуха

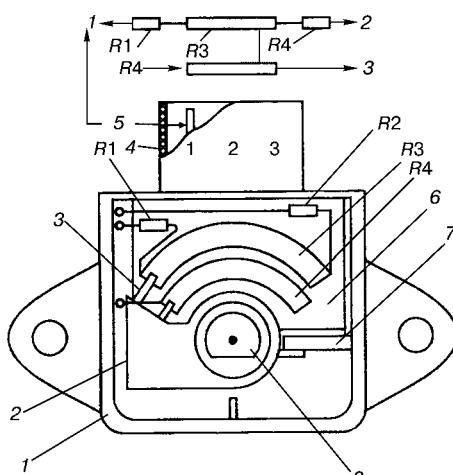


Рис. 9.8
Датчик положения дроссельной заслонки (устройство):

1 — корпус; 2 — поворотная втулка; 3 — движущий контакт; 4 — штекерная колодка; 5 — выводы; 6 — печатная (монтажная) плата; 7 — упор; 8 — ось дроссельной заслонки; R₁, R₂, R₃, R₄ — сопротивления; 1, 2, 3 — номера выводов штекера.

При выходе из строя датчика включается контрольная лампа, блок управления переходит на резервный режим работы, используя данные датчика массового расхода воздуха и данные в памяти блока.

Симптомы неисправности датчика хорошо заметны: потеря мощности, рывки и провалы на разгоне, неустойчивые холостые обороты. При этом контрольная лампа может и не загореться.

Долгая езда с этой неисправностью опасна для двигателя, так как контроллер при больших нагрузках, не получаяенной должной информации, будет исходить из того, что автомобиль движется в умеренном режиме, на экономичной смеси. Поэтому езда с полностью нажатой педалью газа приведет к возникновению детонации и перегреву двигателя.

Исправность датчика можно проверить омметром. Сопротивление между выводами 1 и 2 должно быть 2 К, а между 2 и 3 в одном крайнем положении заслонки (закрытом) — К $70 < 1$ К, а в другом (открытом) — 2 К.

Неисправный датчик подлежит замене.



ДАТЧИК ДЕТОНАЦИИ (ШИРОКОПОЛОСНЫЙ)

Датчик детонации GT305 (Уральский электромеханический завод), 0 261 231 046 (Bosch) или 18.3855 (г. Калуга) служит для определения детонации при работе двигателя. Детонация — это несанкционированное самовоспламенение рабочей смеси в цилиндрах двигателя. При работе двигателя в таком режиме возникают сильные вибрационные и термические нагрузки на его детали, что может привести к разрушению деталей двигателя (например, поршня, прокладки головки блока и др.). Пьезоэлектрический датчик детонации (рис. 9.9а) установлен на правой стороне блока цилиндров под впускным коллектором. Его устройство показано на рис. 9.10.

При работе двигателя возникает вибрация его деталей. Инерционная шайба 6 своей массой воздействует на пьезоэлемент 7, и в нем возникают электрические сигналы определенной величины и формы. Возникновение детонации в работе двигателя приводит к резкому увеличению вибрации, что вызывает увеличение амплитуды напряжения данных сигналов. Они передаются в блок управления, который корректирует угол опережения зажигания до прекращения детонации.

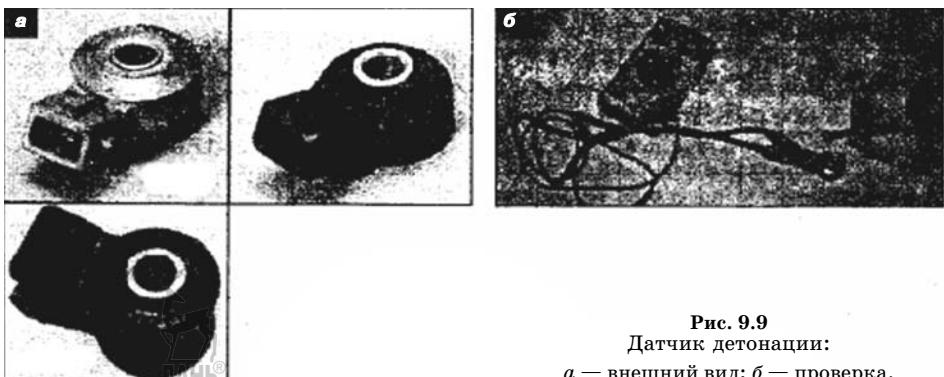


Рис. 9.9
Датчик детонации:
а — внешний вид; б — проверка.

При выходе из строя датчика или его электрических цепей блок управления сигнализирует об этом водителю включением контрольной лампы. Однако сам датчик редко выходит из строя, чаще поврежденными оказываются подходящие к нему провода (тогда двигатель становится более чувствительным к качеству бензина). Их нужно проверить, если контрольная лампа загорается при 3000 об/мин и выше.

Неисправность датчика можно проверить при работе двигателя прибором DST-2 или вольтметром, подключенным к выводам датчика, при этом надо поступать по корпусу датчика (рис. 9.9б). Неисправный датчик не откликается на поступившие скачками напряжения и подлежит замене.

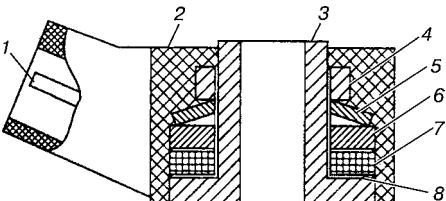


Рис. 9.10

Устройство датчика детонации:

1 — выводы штекера; 2 — изолятор; 3 — корпус; 4 — гайка; 5 — упругая шайба; 6 — инерционная шайба; 7 — пьезоэлемент; 8 — контактная пластина.

РЕГУЛЯТОР ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО (ДОБАВОЧНОГО) ВОЗДУХА

Регулятор РХХ-60 предназначен для поддержания заданной частоты вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу, при пуске, прогреве, при движении «накатом» и при изменяющейся нагрузке от вспомогательного оборудования. Он установлен на впускной трубе и соединен трубками с впускной трубой до дроссельной заслонки и после нее.

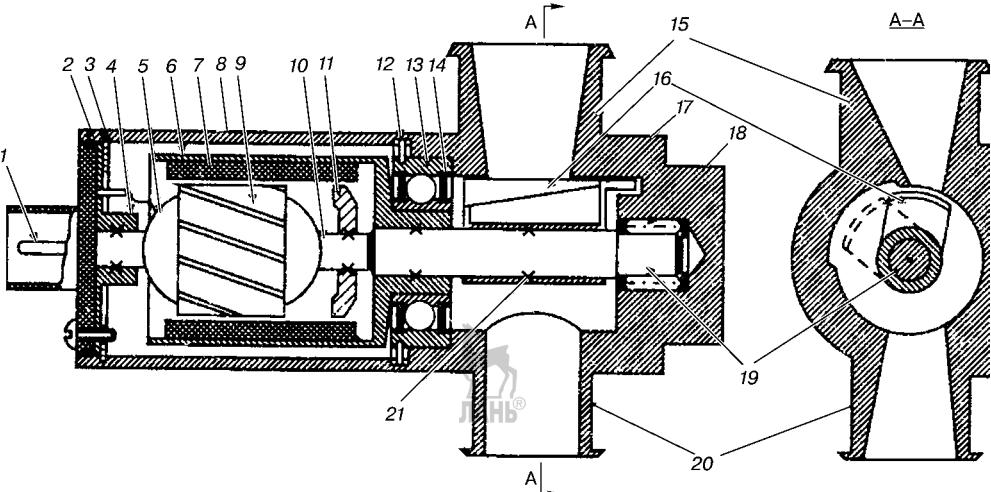


Рис. 9.11
Регулятор дополнительного воздуха:

1 — выводы штекера; 2 — уплотнительное кольцо; 3 — шайба крепления; 4 — фланец крепления оси якоря; 5 — обмотка якоря; 6 — поворотный стакан; 7 — магнит; 8 — корпус; 9 — якорь неподвижный; 10 — ось якоря; 11 — магнитопровод; 12 — стопорное кольцо подшипника; 13 — подшипник; 14 — уплотнение подшипника; 15 — патрубок входной; 16 — поворотная заслонка; 17 — упор; 18 — роликовый подшипник; 19 — вал заслонки; 20 — патрубок выходной; 21 — неразъемное соединение.

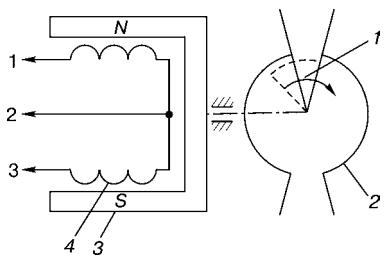


Рис. 9.12
Электромеханическая схема
регулятора дополнительного
воздуха:

1 — заслонка; 2 — корпус; 3 — магнит;
4 — обмотка неподвижного якоря.

Нейисправность регулятора можно проверить следующим образом. При подаче напряжения (12 В) на выводы 1 и 2 заслонка должна открыть отверстие регулятора, а при подаче на выводы 2 и 3 — закрыть отверстие.

Сопротивление каждой обмотки должно быть в пределах 10–14 К.

Неисправность работы регулятора дополнительного воздуха проверяется на двигателе прибором DST-2. Неисправный регулятор подлежит замене.

ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Датчик температуры 19.3828 представляет собой полупроводниковый элемент, который меняет свое сопротивление в зависимости от окружающей температуры.

На двигателе установлены два одинаковых датчика (рис. 9.13а); один — в патрубке термостата, он предназначен для определения температуры охлаждающей жидкости двигателя.

Второй датчик находится во впускной системе, с его помощью определяется температура входящего в цилиндры двигателя воздуха. Оба датчика включены в электронную схему блока управления, который по величине падения напряжения в цепи датчиков (в зависимости от температуры) корректирует подачу топлива и угол опережения зажигания.

Если вышел из строя датчик температуры окружающей жидкости, контроллер принимает пусковую температуру равной 0°C и дает соответствующую команду регулятору добавочного воздуха (неоптимальное соотношение количества бензина и воздуха затруднит пуск в мороз). Уже через 2 мин после того, как мотор все-таки запустили, блок управления решит, что температура охлаждающей жидкости достигла 80°C. Так что не только пускать, но и прогревать двигатель придется, работая педалью газа.

Другая неприятность ждет водителя, когда мотор нагреется до температуры, близкой к критической. Контроллер, получая неверный сигнал и считая, что температура жидкости в норме, не откорректирует угол опережения

Устройство регулятора дополнительного воздуха показано на рис. 9.11, а электромеханическая схема — на рис. 9.12.

Регулятор представляет собой клапан, который регулирует подачу воздуха во впускную систему, минуя дроссельную заслонку. Поворот заслонки 1 осуществляется двухобмоточным электродвигателем с неподвижными обмотками 4 (якоря) и врачающимся магнитом 3. Блок управления обрабатывает сигналы датчиков, определяет необходимое положение заслонки и выдает на обмотки генератора электрические импульсы определенной скважности. Электрический ток, проходя по обмоткам, создает свое магнитное поле, которое, взаимодействуя с магнитом, заставляет повернуться его на определенный угол (шаг). Вместе с ним поворачивается и заслонка, изменяя проходное сечение регулятора.

Исправность регулятора можно проверить следующим образом. При подаче напряжения (12 В) на выводы 1 и 2 заслонка должна открыть отверстие регулятора, а при подаче на выводы 2 и 3 — закрыть отверстие.

Сопротивление каждой обмотки должно быть в пределах 10–14 К.

Неисправность работы регулятора дополнительного воздуха проверяется на двигателе прибором DST-2. Неисправный регулятор подлежит замене.

зажигания. Двигатель потеряет мощность и будет детонировать. При возникновении неисправностей в датчиках или в цепях датчиков блок управления сигнализирует водителю включением контрольной лампы.

Признаком отказа датчика температуры воздуха является то, что контрольная лампа, погасшая после пуска мотора, вновь загорается через 5 с. Следствием отказа датчика является кратковременная детонация прогретого двигателя на разгоне. Блок управления, не получая достоверной информации, считает, что температура во впускном коллекторе постоянна и равна 40°C, поэтому не корректирует угол опережения зажигания.

Исправность датчика можно проверить прибором DST-2, при его отсутствии — по величине падения напряжения в цепи датчика при различных температурах.

Для проверки необходимо собрать схему (рис. 9.13б), поместить датчик в емкость с водой и, изменяя ее температуру, провести замеры падения напряжения вольтметром 4. Для этого сопротивлением 1 по миллиамперметру 3 установить ток в цепи 1–1,5 мА.

При определенной температуре вольтметр должен показывать соответствующее напряжение:

при $t = -40^{\circ}\text{C}$ $U = 2,287\text{--}2,392 \text{ В}$;

при $t = 25^{\circ}\text{C}$ $U = 2,957\text{--}3,022 \text{ В}$;

при $t = 90^{\circ}\text{C}$ $U = 3,642\text{--}3,737 \text{ В}$.

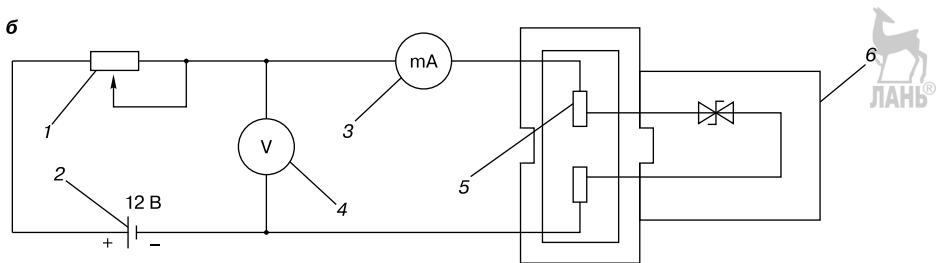
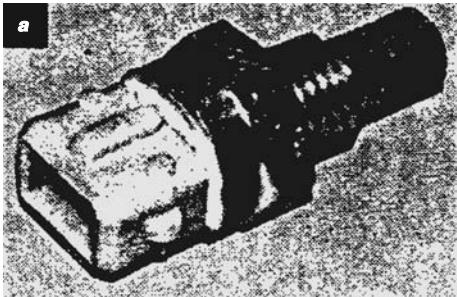


Рис. 9.13
Датчик температуры:

а — внешний вид датчика; б — электрическая схема для проверки датчика температуры; 1 — переменное сопротивление 10 К; 2 — аккумуляторная батарея; 3 — вольтметр; 4 — миллиамперметр; 5 — выводы штекера; 6 — датчик.

КАТУШКА ЗАЖИГАНИЯ

Катушки зажигания 30.3705, 301.3705 или 3012.3705 предназначены для вырабатывания электрического тока высокого напряжения, необходимого для воспламенения рабочей смеси в цилиндрах. (На 16-клапанном двигателе ЗМЗ-4063.10 используются катушки зажигания 3012.3705, возможна установка одной 4-искровой катушки.)

Выход из строя катушки зажигания, к сожалению, не редкость (признаки — провалы при разгоне, потеря мощности, неустойчивый холостой ход). Если все же необходимо проехать несколько километров, надо отключить разъемы соответствующей пары форсунок, чтобы бензин не смывал масло со стенок неработающих цилиндров и не попадал в картер.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ БЕНЗОНАСОС

Электрический бензонасос 52.1159 предназначен для подачи бензина к форсункам под давлением. Он установлен под кузовом у заднего сиденья рядом с бензобаком. Электрический бензонасос представляет собой центробежный роликовый насос с приводом от электродвигателя.

Устройство электрического бензонасоса показано на рис. 9.14.

Электродвигатель и роликовый насос смонтированы в одном герметичном корпусе. Бензин прокачивается насосом через весь электродвигатель, охлаждая его. Центробежный роликовый насос состоит из неподвижного статора 5, внутренняя поверхность которого смешена на 1,5 мм относительно оси якоря электродвигателя, цилиндрического сепаратора 19, соединенного с якорем электродвигателя, и роликов 24, расположенных в пазах сепаратора.

Располагается насос в пространстве между основанием 4 и крышкой 7. Бензин через штуцер 1 и паз 25 в 4 поступает в сегментное пространство, между внутренней поверхностью основания и сепаратором, образуемое за счет их эксцентричества, и при вращении сепаратора переносится роликами в более узкое пространство; затем через выходные каналы 8 поступает в полость электродвигателя и потом через клапан 14 и штуцер 16 — в бензомагистраль.

Обратный клапан 14 служит для исключения слива бензина из магистрали и образования воздушных пробок после выключения бензонасоса; предохранительный клапан 6 — для ограничения давления топлива выше допустимой нормы.

Включается электробензонасос блоком управления через промежуточное реле при включении зажигания. Если через 3–5 с стартер не включился, то блок управления отключает бензонасос. Последующее включение произойдет при запуске двигателя стартером.

Проверить работу электробензонасоса можно на специальном стенде.

Основные технические характеристики электрического бензонасоса: номинальное напряжение — 12 В; потребляемый ток (при работе в системе — не более 6,5 А; при работе на холостом ходу (допускается только кратковременное включение) — 2 А; производительность — 130 л/ч; рабочее давление — не менее 3 кгс/см²; максимальное давление — 4–6 кгс/см².

При абсолютном внешнем сходстве работают бензонасосы по-разному, это видно по результатам испытаний (табл. 9.1).

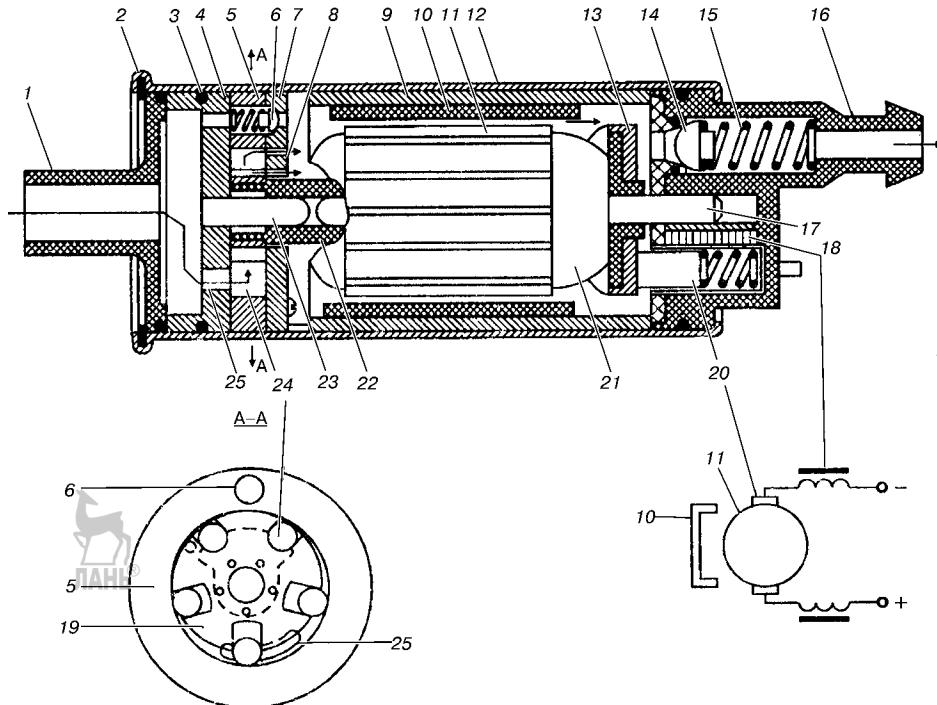


Рис. 9.14
Электрический бензонасос:

1 — входной штуцер; 2 — уплотнительное кольцо; 3 — стопорное кольцо; 4 — основание; 5 — статор насоса; 6 — предохранительный клапан; 7 — крышка насоса; 8 — выход электродвигателя; 9 — станина электродвигателя; 10 — постоянный магнит; 11 — якорь электродвигателя; 12 — корпус; 13 — коллектор якоря электродвигателя; 14 — обратный клапан; 15 — пружина; 16, 17 — вал электродвигателя; 18 — фильтр радиопомех; 19 — сепаратор; 20 — щетка якоря электродвигателя; 21 — крышка соединительная якоря и вала электродвигателя; 22 — муфта соединительная; 23 — вал насоса; 24 — ролик.

Таблица 9.1

Результаты испытаний бензонасосов

Тип бензонасоса/производитель	Производительность на свободный слив, л/ч	Давление нулевой подачи
058464044 (Bosch)	135	8
18.3780 (Тюмень)	135	3,5–4,5
50.1139 (Старый Оскол)	135	5,2
98T092 («Пирбург»)	130	8,5

У тюменского насоса при работе наблюдались пульсации давления от 3,5 до 4,3 кгс/см, что сопровождалось ощутимым нагревом и повышенной шумностью. Фильтра в насосе 18.3780 нет. Качество деталей и сборки также разнится: в 058464044 нет облупленных магнитов и перекошенных резиновых уплотнений, а якорь не становится белесым после бензина, из обмотки ротора не высываются кусочки провода.

Старооскольский насос поменьше и попроще. Щетки коллектора расположены вдоль оси ротора. Рабочий элемент насосной секции — дисковый

ротор с пятью роликами. Его ось неподвижна, а соединение с валом электромотора идет через муфту.

С 2000 г. на этих насосах стали устанавливать фильтры и опоры-амортизаторы (которые уменьшают шумность при работе). Изделие разборное, а значит, его можно ремонтировать. В насосной секции бензонасоса 98Т092 фирмы «Пирбург» вместо роликов использованы шестерни внутреннего зацепления. Малая (ведущая) шестерня насоса центрируется валом ротора электродвигателя, а вращение от ротора к ней передается через трехсегментную муфту. Подшипником для задней опоры вала ротора служит корпус насосной секции. На входе — фильтрующий сетчатый стаканчик.

Поскольку в электробензонасосах используется двигатель постоянного тока, это требует обязательного соблюдения полярности. Так, клемма для подключения «плюса» поменьше, с резьбой M4, а «минуса» — побольше, с резьбой M5.

9.1.2. РЕЖИМ САМОДИАГНОСТИКИ КОНТРОЛЛЕРА МИКАС 5.4

Светящийся на панели приборов контур двигателя контрольной лампы — знак неисправности. Этот же сигнал может помочь отыскать путь к устранению неисправности.

В блок управления встроена функция самодиагностики — это проверка цепей всех элементов, которая начинается с момента включения зажигания.

При включении зажигания на панели комбинации приборов загорается и гаснет контрольная лампа (рис. 9.15), появляется светящийся контур двигателя, это означает, что система исправна и готова к работе.

Когда блок управления обнаруживает неисправность, он включением контрольной лампы информирует об этом водителя. Если неисправность пе-



Рис. 9.15
Фрагмент
панели приборов

риодическая — то возникает, то пропадает, — информация выдается коротким включением контрольной лампы. Если неисправность возникает с частотой больше двух раз в минуту, то блок согласно заложенной в его памяти программе присваивает ей двух- или трехзначный код и запоминает его. Если поломка серьезная, то контрольная лампа будет гореть постоянно.

Итак, на панели приборов высветился сигнал неисправности. Для перевода блока управления в режим самодиагностики необходимо:

- отключить аккумуляторную батарею на 10–15 с и вновь подключить;
- запустить двигатель и дать ему поработать на холостом ходу;
- не трогая педали дроссельной заслонки, через 30–60 с остановить двигатель, но зажигание не выключать, затем медной перемычкой или любым отдельным проводом соединить выводы диагностической розетки, которая установлена в моторном отделении на щитке передка с правой стороны.

После перевода блока управления в режим самодиагностики он будет выдавать информацию световой индикацией. Чтобы ее расшифровать, необходимо сосчитать количество вспышек контрольной лампы. Каждой неисправности присвоен свой цифровой код, определяется он по числу включений лампы. Так, цифре 1 соответствует одно короткое включение (0,5 с), цифре 2 — два и так до 9.

Сначала считают число включений лампы для определения первой цифры кода, затем идет пауза 15 с. Потом считают число включений для определения второй цифры, затем третьей, далее следует пауза до 4 с, определяющая конец кода. Повторив код трижды, блок управления переходит к высвечиванию следующего.

После перевода блока управления в режим самодиагностики индикация обязательно должна высветить код 12 трижды (рис. 9.16), что свидетельствует о начале работы режима самодиагностики.

Следующие коды будут отображать имеющуюся одну или несколько неисправностей; каждый код повторяется трижды.

После индикации всех кодов имеющихся неисправностей индикация кодов повторяется. Опыт показывает, что наиболее часто блок управления регистрирует как одноразовые и многоразовые ошибки следующие коды:

- 25 — падение напряжения ниже допустимого. Возможные причины — включение стартера при несколько разряженном аккумуляторе, окислившиеся или незатянутые клеммы АБ, плохой контакт с «массой»;
- 53 — неисправность датчика положения коленвала. Иногда это вызвано плохим контактом на датчике, или сбои могут вызвать значительные помехи в бортовой сети, например от высоковольтных проводов или на конечников свечей без помехоподавляющих резисторов;
- 61 — неисправность блока управления означает автоматический перезапуск программы из-за действия сильной внешней помехи (неисправных элементов системы зажигания и т. п.);
- 62 — потеря данных оперативной памяти происходит в случае отключения от бортовой сети аккумулятора и при значительном падении напряжения. До ремонта и после него, чтобы разделить однократные и постоянные неисправности, надо стереть коды неисправностей из оперативной памяти

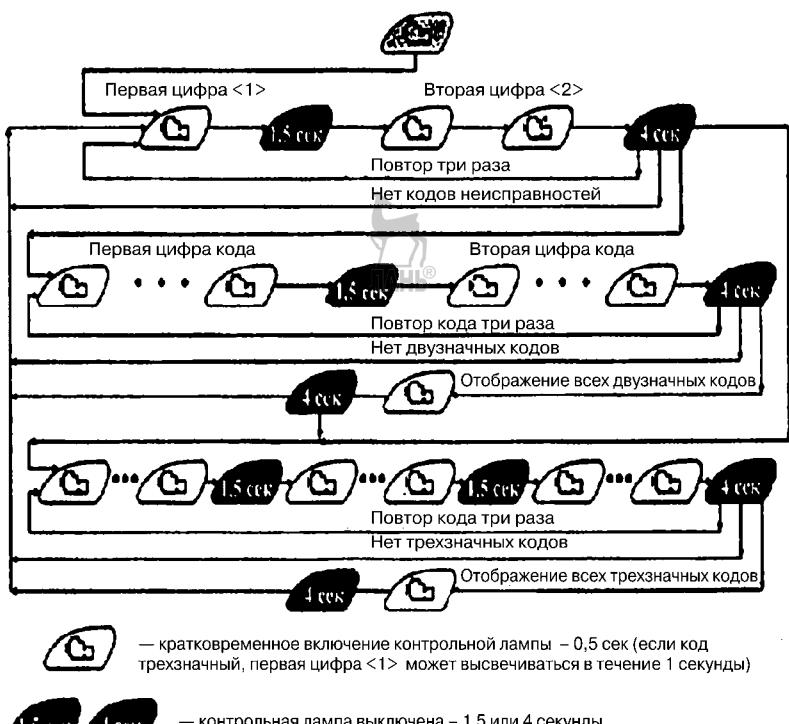


Рис. 9.16
Последовательность вывода кодов неисправностей

контроллера. Для этого достаточно при выключенном зажигании отсоединить «массовый» провод от аккумулятора не менее чем на одну минуту. После этого блок покажет коды 12 и 62 и может добавить коды неисправностей повторившихся после перезагрузки.

Если блок управления не может определить неисправность, то высвечивается код 12. В табл. 9.2 приведены диагностические коды неисправностей МСУД с контроллером МИКАС 5.4.

Таблица 9.2

Диагностические коды неисправностей МСУД

№ кода	Неисправность
12	Начало работы блока в режиме самодиагностики
13	Низкий уровень сигнала с датчика массового расхода воздуха
14	Высокий сигнал с датчика массового расхода воздуха
17	Низкий уровень сигнала с датчика температуры воздуха
18	Высокий уровень сигнала с датчика температуры воздуха
21	Низкий уровень сигнала с датчика температуры двигателя
22	Высокий уровень сигнала с датчика температуры двигателя
23	Низкий уровень сигнала с датчика положения дроссельной заслонки
24	Высокий уровень сигнала с датчика положения дроссельной заслонки

№ кода	Неисправность
25	Низкий уровень напряжения в бортовой сети автомобиля
26	Высокий уровень напряжения в бортовой сети автомобиля
31	Низкий уровень сигнала потенциометра СО
32	Высокий уровень сигнала потенциометра СО
41	Неисправность в цепи датчика детонации
51	Неисправность № 1 в блоке управления
52	Неисправность № 2 в блоке управления
53	Неисправность датчика положения коленчатого вала
54	Неисправность датчика положения распределительного вала
61	Неисправность № 3 блока управления
62	Неисправность оперативной памяти блока управления
63	Неисправность постоянной памяти блока управления
64	Неисправность при чтении энергонезависимой памяти блока управления*
65	Неисправность при записи в энергонезависимую память блока управления
71	Низкая частота вращения коленчатого вала на холостом ходу
72	Высокая частота вращения коленчатого вала на холостом ходу
131	Неисправность форсунки 1-го цилиндра (короткое замыкание)
132	Неисправность форсунки 1-го цилиндра (обрыв)
133	Неисправность форсунки 1-го цилиндра (короткое замыкание на корпус)
134	Неисправность форсунки 2-го цилиндра (короткое замыкание)
135	Неисправность форсунки 2-го цилиндра (обрыв)
136	Неисправность форсунки 2-го цилиндра (короткое замыкание на корпус)
137	Неисправность форсунки 3-го цилиндра (короткое замыкание)
138	Неисправность форсунки 3-го цилиндра (обрыв)
139	Неисправность форсунки 3-го цилиндра (короткое замыкание на корпус)
141	Неисправность форсунки 4-го цилиндра (короткое замыкание)
142	Неисправность форсунки 4-го цилиндра (обрыв)
143	Неисправность форсунки 4-го цилиндра (короткое замыкание на корпус)
161	Неисправность обмотки 1 регулятора дополнительного воздуха (короткое замыкание)
162	Неисправность обмотки 1 регулятора дополнительного воздуха (РДВ) (обрыв)
163	Неисправность обмотки 1 РДВ (короткое замыкание на корпус)
164	Неисправность обмотки 2 РДВ (короткое замыкание)
165	Неисправность обмотки 2 РДВ (обрыв)
166	Неисправность обмотки 2 РДВ (короткое замыкание на корпус)
167	Неисправность цепи реле бензонасоса (короткое замыкание)
168	Неисправность цепи реле бензонасоса (обрыв)
177	Неисправность цепи разгрузочного реле (короткое замыкание)
178	Неисправность цепи разгрузочного реле (обрыв)
181	Неисправность цепи контрольной лампы (короткое замыкание)
182	Неисправность цепи контрольной лампы (обрыв)
197*	Неисправность цепи клапана ЭПХХ (короткое замыкание)
198*	Неисправность цепи клапана ЭПХХ (обрыв)

Примечание. *Коды относятся к последним версиям программного обеспечения для блоков управления МИКАС 5.4, управляющих системой зажигания автомобилей с двигателем ЗМЗ-4063.10.

Однако система самодиагностики не является панацеей, она только сравнивает получаемые от датчиков сигналы с эталонными, хранящимися в ее памяти. Поэтому возможно, что какой-либо датчик, указанный процессором как испорченный, окажется исправным, неполадки же вызваны окислившимися контактами его разъема, сгоревшим предохранителем, плохой «массой» (много проводов подсоединенено к впускному коллектору) или где-то перебитым проводом.



9.1.3. КОНТРОЛЛЕРЫ МИКАС 7.1 И АВТРОН

Обновление радиоэлектронной элементной базы дало толчок к созданию нового контроллера МИКАС 7.1 с более расширенными возможностями по сравнению с его предшественником МИКАС 5.4.

Новый блок обладает более мощным процессором, который, командуя соответственно укомплектованным двигателем, не даст ему выйти за рамки экологических норм Евро-3 (верхней планкой для МИКАС 5.4 были нормы Евро-2). МИКАС 7.1 имеет расширенные функции самодиагностики, возможность подключения иммобилизатора, лучшую виброзащищенность, возможность перепрограммирования через специальный вход на разъеме без обязательной (как прежде) замены ПЗУ. И наконец, МИКАС 7.1 полностью взаимозаменяется со старым блоком. В табл. 9.3 приведены результаты испытаний рассматриваемых контроллеров на автомобиле ГАЗ-3110 с двигателем ЗМЗ-4062.10.

Контроллер МИКАС 7.1 выпускают в нескольких исполнениях, как и блок МИКАС 5.4, для моторов: впрысковых ЗМЗ-4062.10, карбюраторных ЗМЗ-4063.10 (здесь контроллер управляет только зажиганием), ЗМЗ-405, 409 и УМЗ-4213.

Современная SMT-технология позволила повысить надежность изделия за счет сокращения ручного труда, а 8-разрядный микропроцессор Siemens взял управление всеми системами на себя, позволив свести разрозненные прежде устройства в одно целое.

Система МИКАС (вначале модель 5.3, затем 5.4) уверенно захватила большую часть рынка. Естественно, блоки постоянно совершенствуются, так, МИКАСы образца 1997 г. работали по программе G7da442, а с сентября 1998 г. ее сменила НЕ7da442, с декабря 1998 г. — НТ7da442.

Таблица 9.3

Результаты испытания контроллеров

Показатель	Блок управления	
	МИКАС 5.4	МИКАС 7.1
Расход топлива, л/100 км:		
в городском цикле	12,89	12,79
при скорости 90 км/ч	7,9	7,5
при скорости 120 км/ч	11,9	10,5
Разгон с 40 до 120 км/ч на IV передаче, с	34	32,3



Результаты испытания контроллеров

Показатель	Блок управления	
	МИКАС 5.4	АВТРОН М1.5.4
Режим холостого хода:		
CO, % (на оборотах ХХ)	0,55–0,6	0,5–0,6
CH, прт (на оборотах ХХ)	180–190	220–226
CO, % (при 3200 об/мин, без нагрузки)	0,19–0,2	0,25–0,27
CH, прт (при 3200 об/мин, без нагрузки)	53–55	70
Ездовой цикл ОСТ 37.001.054-86 (с пуском горячего двигателя)		
CO, г/исп	23,52	24,03
CH, г/исп	4,68	5,06
NO _x , г/исп	8,98	4,76
Os, л/100 км/ч	14,78	15
Расход топлива, л/100 км на стенде при скорости 90 км/ч	10,08	8,36
Разгон с 40 до 100 км/ч на IV передаче на стенде, с	16,50	16,17

Хотя контроллеры АВТРОН изготавливают не самым современным способом (пайка волной), схемотехника и исполнение внушают доверие (изделие оборонного предприятия). 16-разрядный процессор Intel 87C196 может на порядок быстрее, чем у МИКАС, обрабатывать информацию от датчиков и столь же быстро управлять двигателем. Тем более это касается АВТРОН с поверхностным монтажом, выпуск которых осваивает Старооскольский завод. К процессору добавились столь же современные элементы. Эти изделия обладают тройной системой диагностики (кнопка «тестер — компьютер») и обнаруживают любые неисправности вплоть до обрыва катушки зажигания. В табл. 9.4 приведены результаты испытаний контроллеров МИКАС 5.4 и АВТРОН М1.5.4.

Изделие Раменского завода выполнено на дискретных элементах и ремонтопригодно. Старооскольский вариант — с интеллектуальными ключами под «зажигание» и с процессором Intel. На базе этого изделия выпускается блок зажигания для карбюраторных двигателей.

Самые лучшие контроллеры — АВТРОН-ЭЛАРА Чебоксарского приборостроительного завода, выполненные на основе процессора Siemens 87C167 (16 каналов аналого-цифровых преобразователей, несколько десятков портов, 32 таймера и т. д.): Евро-3, поцилиндровое управление двигателем, обнаружение неисправности до пуска двигателя и др. Применение поверхностного монтажа устраняет такие проблемы, как перегрев или непропайка деталей. Изделия этого завода предназначены для управления двигателями ГАЗ и УАЗ.

Для диагностики двигателей с контроллерами серии АВТРОН и самих блоков управления не нужен специальный тестер, их можно проверить на компьютере, купив программные диски и комплект кабелей.

При работе с микропроцессорной системой управления двигателем:

1. Нельзя просто накидывать клеммы на выводы аккумуляторной батареи. Их надо закреплять так, чтобы контакт был надежным. Это касается и всех остальных разъемов системы.
2. Нельзя подключать батарею к бортовой сети автомобиля с включенным зажиганием.
3. Нельзя снимать разъем блока управления, если «минусовая» клемма не снята с батареи.
4. Желательно не прикасаться к выводам блока управления, так как случайный статический разряд может вывести из строя чувствительные элементы.
5. Устранив неполадки, не торопитесь заново включать систему самодиагностики, так как информация о неисправностях останется в блоке управления еще 2 ч. Память блока можно очистить, отключив на 15–20 с «минус» аккумулятора (только при неработающем двигателе и выключенном зажигании). Подключив «массу», надо пустить двигатель и дать ему поработать на холостом ходу 1 мин. После этого можно снова включить режим самодиагностики.
6. На всех впрысковых машинах после неудачной попытки пуска «залитые» свечи можно просушить, включив режим продувки. Для этого надо плавно нажать на педаль газа и на 5–10 с включить стартер. Блок управления отключит подачу топлива.
7. Не игнорируйте свечение лампочки резерва топлива и вовремя заправляйте машину, этим вы продлите срок службы электробензонасоса, так как даже кратковременная работа насоса «всухую», после того как он «нахватается» воздуха, нежелательна. Ведь бензин — это не только охлаждение, но и смазка вращающихся частей бензонасоса.
8. После установки высоковольтных проводов с неизвестным сопротивлением возникают кратковременные перебои в работе двигателя. На впрысковых ТАЗах применяются провода сопротивлением К50 + 1К0 (2К0/м). Подходят синие провода от «Самары», но они длиннее.
9. Желательно, чтобы вы имели в запасе хотя бы датчик положения коленчатого вала и электробензонасос. Без них двигатель работать не будет.

9.2.

МПСУ ДВИГАТЕЛЕМ АВТОМОБИЛЕЙ «МОСКВИЧ-СВЯТОГОР» С ДВИГАТЕЛЕМ RENAULT-F3R

Схема микропроцессорной системы управления двигателем (МСУД) для автомобилей базовой комплектации приведена на рис. 9.17 — без гидроусилителя руля, систем кондиционирования воздуха, улавливателя паров бензина, противогонной и информационной.

Некоторые контрольные параметры исправной системы впрыска: обороты холостого хода — 700–870 об/мин; давление топлива — 2,8–3,2 атм; давление, развиваемое топливным насосом, — 3 атм; сопротивление датчика положения дроссельной заслонки (выводы A и B) — 4 кОм; напряжение между выводом B датчика давления воздуха на впуске и «массой» — 0,2–5 В (в зависимости от режима работы двигателя); напряжение питания на выводе C — 5 В; сопротивление датчика температуры воздуха — 7–12 кОм при 0°C; 3–4 кОм при 20°C; сопротивление обмотки клапана регулятора холостого хода — 8–10R5; сопротивление первичной обмотки катушки зажигания

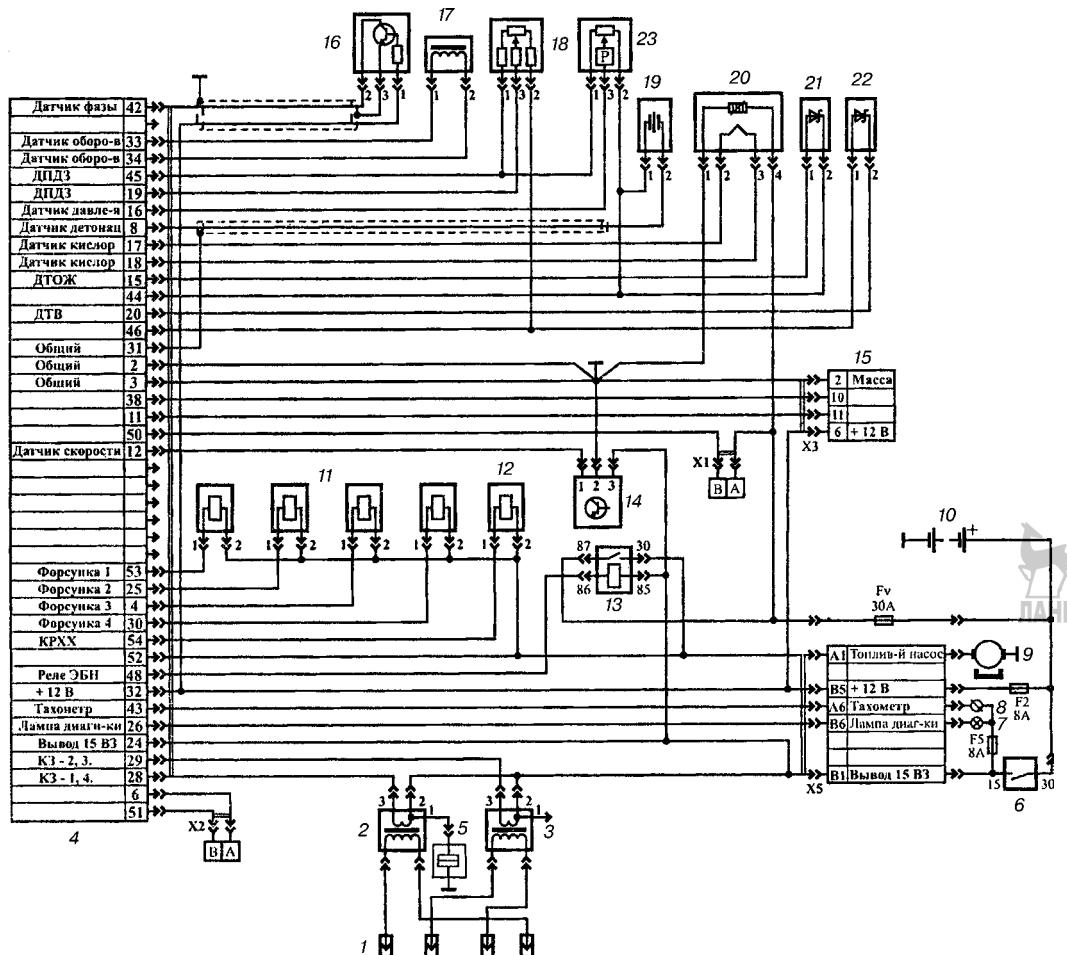


Рис. 9.17

Схема микропроцессорной системы управления двигателем с контроллером Siemens, идентификационный номер 7700107796:

1 — свечи зажигания; 2 — катушка зажигания 1-го и 4-го цилиндров; 3 — катушка зажигания 2-го и 3-го цилиндров; 4 — контроллер; 5 — помехоподавляющий фильтр; 6 — выключатель зажигания; 7 — контрольная лампа диагностики МСУД; 8 — тахометр; 9 — топливный насос; 10 — аккумуляторная батарея; 11 — форсунки; 12 — клапан регулятора холостого хода; 13 — реле топливного насоса и системы впрыска; 14 — датчик скорости; 15 — колодка диагностики; 16 — датчик (фазы) положения распределительного вала; 17 — датчик оборотов коленчатого вала; 18 — датчик положения дроссельной заслонки; 19 — датчик детонации; 20 — датчик кислорода (лямбда-зонд); 21 — датчик температуры охлаждающей жидкости; 22 — датчик температуры воздуха во впускном трубопроводе; 23 — датчик абсолютного давления воздуха на впуске; X1 — разъем клапана продувки адсорбера системы улавливания паров топлива; X2 — разъем панели управления кондиционером; X5 — разъем жгута системы впрыска для соединения с системой электрооборудования автомобиля.

(выводы 1 и 3) — 1R0; сопротивление вторичной обмотки катушки зажигания — 8–10 кОм; сопротивление датчика температуры охлаждающей жидкости — 3–4К1 при 20°C; K21–K27 при 90°C; сопротивление датчика оборотов коленчатого вала — K15–K25.

В системе распределенного (многоточечного) впрыска автомобиля «Святогор» с контроллером Simens S113717120 применяются:

- электроклапан холостого хода Hitachi AESP 207-17;
- форсунки Simens;
- регулятор давления Bosch или Weber;
- бензонасос (погружной) Walbro;
- катушки зажигания Magneti Marelli BAE 801;
- лямбда-зонд Bosch LSH25.

Контрольная лампа вспыхивает при включении зажигания на 2–3 с. Системы самодиагностики нет.

9.3. МСУД АВТОМОБИЛЕЙ ВАЗ

С конвейера сошло несколько вариантов «Самар» с двигателями ВАЗ-2111, имеющих многоточечный распределенный впрыск топлива. Отличий на первый взгляд немного, но они весьма существенны.

Первый вариант — экспортный, совместная работа ВАЗ и General Motors. Автомобиль соответствует строгим экологическим нормам, на нем установлен нейтрализатор, в системе впрыска есть датчик содержания остаточного кислорода в отработанных газах (лямбда-зонд). Но двигатель должен работать только на неэтилированном бензине, иначе названные элементы выйдут из строя. Полные комплекты системы впрыска для этих машин поставляет General Motors.

Второй вариант предназначен для внутреннего рынка. Его особенность — программа собственной разработки (блок управления «Январь-4»), российские компоненты системы, отсутствие нейтрализатора и лямбда-зонда. Двигатель может работать на этилированном бензине. Сегодня детали к нему выпускают мелкими партиями на разных предприятиях. Разъемы элементов систем ВАЗ и General Motors одинаковы, многие детали взаимозаменяемы.

Третий вариант появился благодаря сотрудничеству с фирмой Bosch. Двигатель 2111 теперь развивает 57 кВт/77 л/с, имеет новый впускной коллектор, ресивер впуска и распредвал с более «широкими» фазами. Разработано два блока управления: более дешевый М1.5.4 обеспечивает нормы токсичности Евро-2; МП7.0 отвечает более жестким требованиям Евро-3. У варианта системы фирмы Bosch разъемы оригинальные, поэтому совместить его с двумя другими не удается.

Определить, с каким впрыском машина сошла с конвейера, можно по маркировке. Возьмем, например, автомобиль ВАЗ-21083-20-110. «2» означает восьмиклапанный двигатель с многоточечным впрыском, «0» — автомобиль с низкой панелью приборов, «1» — с высокой. Цифра в конце маркировки «1» — автомобиль предназначен на экспорт, оснащен нейтрализатором и, следовательно, системой впрыска General Motors; «0» — машина предназначена для внутреннего рынка, система отечественная. Наконец, впрыск Bosch обозначают четверкой на второй позиции (ВАЗ-21083-24).

Внешне новую систему Bosch проще всего отличить по датчику массового расхода воздуха. Прежний датчик General Motors был прямоугольный, современный — круглый с маркировкой Bosch. Для переднеприводных «восьмого» и «десятого» семейства используют пять базовых блоков управления, а значит, и моделей распределенного впрыска: General Motors, «Январь-4», Bosch M1.5.4, «Январь-5», Bosch MP7.0. «Жигули» и «Нивы», предназначенные для экспорта, оснащали моновпрыском General Motors. Принятая на ВАЗе система обозначений, а также основные характеристики контроллеров управления и их модификаций показаны в табл. 9.5–9.7.

Таблица 9.5

Контроллеры General Motors

Автомобиль	Модель двигателя	Обозначение General Motors	Номер по каталогу General Motors	Номер по каталогу ВАЗ	Нормы токсичности
«Нива»	2121, 21214	EFI-4	16186499	21214-1411010	США-83
«Нива» [®]	21214	ITMS-6F	16253799	21214-1411010-40	Евро-2
2104, 2105, 2107	21073	EFI4	16186509	21214-1411010-10	США-83
2104, 2105, 2107	21073	ITMS-6F	16253759	21214-1411010-50	Евро-2
21083, 21093, 21099	2111	ISFI-2S	16162409	2111-1411020-20	США-83
21083, 21093, 21099	2111	ISFI-2S	16153799	2111-1411020-21	Евро-2
21102	2111	ISFI-2S	16253809	2111-1411020-10	Евро-2
21103	2112	ISFI-2S	16253819	2112-1411020-10	Евро-2
21103	2112	ISFI-2S	16162449	2112-1411020	Россия-83

Таблица 9.6

Контроллеры Bosch

Автомобиль	Модель двигателя	Обозначение Bosch	Номер по каталогу Bosch	Номер по каталогу ВАЗ	Нормы токсичности
21083, 21093, 21099, 21102	2111	M1.5.4	0261204722	2111-14110-20	Россия-83
21083, 21093, 21099, 21102	2111	M1.5.4.	0261206683	2112-1411020-70	Россия-83
21083, 21093, 21099, 21102	2111	M1.5.4	0261206555	2112-1411020-60	Евро-2
21103, 21113, 2112	2112	M1.5.4	0261206174	2111-1411020-40	Евро-2
21083, 21093, 21099, 21102	2111	MP7.0	0261204723	2112-1411020-40	Евро-2
21083, 21093, 21099, 21102	2111	MP7.0	0261206883	2112-1411020-50	Евро-3
21103, 21113, 2112	2112	MP7.0	0261206985	2112-1411020-50	Евро-3

Контроллеры «Январь»

Автомобиль	Модель двигателя	Обозначение ВАЗ	Номер по каталогу ВАЗ	Нормы токсичности
21083, 21093, 21099, 21102	2111	«Январь-4»	2111-1411020-22	Россия-83
21103	2112	«Январь-4»	2112-1411020-01	Россия-83
21083, 21093, 21099	2111	«Январь-5.1.1»	2111-1411020-71	Россия-83
21102, 21110, 21103, 21113, 2112	2112	«Январь-5.1.2»	2112-1411020-71	Россия-83
21083, 21093, 21099, 21102, 21110	2111	«Январь-5.1»	2111-1411020-61	Евро-2
21103, 21113, 2112	2112	«Январь-5.1»	2112-1411020-41	Евро-2

Впрыском в системе управления двигателем General Motors, адаптированным к российским условиям, прежде всего к этилированному бензину, управлял контроллер отечественной разработки («Январь-4»), который по размерам и конфигурации аналогичен General Motors и работает по упрощенной, а также более точной схеме. Отличить их можно по работе контрольной лампы Check engine («проверь двигатель»). С контроллером General Motors она гасла с началом работы мотора (если блок не обнаружил неисправность), а с блоком «Январь-4» — кратковременно загоралась в момент включения зажигания.

В целом впрыск американского производства, управляемый отечественным контроллером, не доставляет особых проблем. К примеру, расход топлива (по сравнению с системой с блоком General Motors) в городе снизился на 0,5 л/100 км, на шоссе при скорости 120 км/ч — на 1 л/100 км. Однако стал заметен момент включения форсунок при торможении двигателем. Система впрыска отключает подачу топлива, когда автомобиль движется на передаче, а дроссельная заслонка закрыта. Если ход машины замедлился до 20 км/ч, форсунки вновь начинают работать и водитель ощущает небольшой рывок.

Это не недостаток системы управления двигателем, а недостаток программы, заложенной в запоминающее устройство калибровок (ЗУК) или микросхему флеш-памяти.

Программы позволяют создавать модификации базовых контроллеров для работы с двигателями разных моделей или выполнения различных экологических норм. Характеристики и обозначения серийных программ сведены в табл. 9.8. Номера, составляющие первую колонку таблицы, наносят на микросхемы памяти с соответствующим программным обеспечением для блоков «Январь-4» или на шильдики контроллеров семейств M1.5.4, «Январь-5» и MP7.0.

ЗУК — это сменный элемент электронного блока, в нем есть два блока памяти — ПЗУ и ППЗУ, которые задают темп работы всему компьютеру. Информацию можно стирать (ультрафиолетом) и записывать новую, к примеру, рассчитанную на этилированный бензин, повышение мощности, снижение токсичности и т. п. Заменяя этот элемент, можно выбрать понравившуюся настройку двигателя.

Серийное программное обеспечение контроллеров

Обозначение программы	Контроллер, номер по каталогу ВАЗ	Модель двигателя	Нормы токсичности	Применение
J4V13014	«Январь-4» 2111-1411020-22	2111	Россия-83	Последняя серийная версия, попарно-параллельный впрыск. Резонансный датчик детонации
J4V13V14	«Январь-4.1» 2111-1411020-22	2111	Россия-83	Последняя серийная версия, попарно-параллельный впрыск. Резонансный датчик детонации
J4V07W15	«Январь-4.1» 2112-1411020-01	2112	Россия-83	Последняя серийная версия, фазированный впрыск. Резонансный датчик детонации
J4V07Y16	«Январь-4.1» 2112-1411020-01	2112	Россия-83	Первая серийная версия, фазированный впрыск. Резонансный датчик детонации
MIV13054	Bosch MI.5.4 2111-1411020	2111	Россия-83	Первая серийная версия, одновременный впрыск. Резонансный датчик детонации
M1V13R59	Bosch MI.5.4 2111-1411020	2111	Россия-83	Текущая серийная версия, одновременный впрыск. Резонансный датчик детонации
M1V13S64	Bosch MI.5.4 2111-1411020-70	2111	Россия-83	Текущая серийная версия, одновременный впрыск. Широкополосный датчик детонации
J5V13Y02	«Январь-5.1.1» 2111-1411020-71	2111	Россия-83	Первая серийная версия, одновременный впрыск. Широкополосный датчик детонации
J5V03G21*	«Январь-5.1» 2111-1411020-61	2111	Евро-2	Первая серийная версия, попарно-параллельный впрыск. Широкополосный датчик детонации
J5V03H21*	«Январь-5.1» 2111-1411020-61	2111	Евро-2	Вторая серийная версия, попарно-параллельный впрыск. Широкополосный датчик детонации
J5V03I21*	«Январь-5.1» 2111-1411020-61	2111	Евро-2	Текущая серийная версия, попарно-параллельный впрыск. Широкополосный датчик детонации
M1V03H25*	Bosch MI.5.4 2111-1411020-61	2111	Евро-2	Первая серийная версия, попарно-параллельный впрыск. Широкополосный датчик детонации
J5V07G26	«Январь-5.1.2» 2112-1411020-61	2112	Россия-83	Первая серийная версия, фазированный впрыск. Широкополосный датчик детонации
J5V05F16*	«Январь-5.1» 2112-1411020-41	2112	Евро-2	Первая серийная версия, фазированный впрыск. Широкополосный датчик детонации
J5V05H16*	«Январь-5.1» 2112-1411020-41	2112	Евро-2	Текущая серийная версия, фазированный впрыск. Широкополосный датчик детонации
M1V05F05*	Bosch MI.5.4 2112-1411020-40	2112	Евро-2	Первая серийная версия, фазированный впрыск. Широкополосный датчик детонации
M7V03E65	MP7.0 2111-1411020-40	2111	Евро-2	Первая серийная версия, попарно-параллельный впрыск. Широкополосный датчик детонации
M7V08V12 (M7V16V12)	MP7.0 2112-1411020-50 (2111-1411020-50)	2112 (2111)	Евро-3	Первая серийная версия, фазированный впрыск. Широкополосный датчик детонации



Расшифруем код программы на примере сочетания M1V13054.

Код состоит из восьми знаков, объединенных в пять групп.

Первая группа — буква и цифра — указывает тип контроллера: M1 — семейство блоков Bosch M1.5.4; M7 — Bosch MP7.0; J4 — «Январь-4»; J5 — «Январь-5».

Вторая группа — буква, обозначающая семейство автомобилей (шифр темы): V — все переднеприводные машины семейств 2108, 2110; N — полноприводные ВАЗ; К — автомобили «Калина» 1118, 1119.

Третья группа — две цифры условного номера комплектации (00–99): 03 — нормы токсичности Евро-2, 16-клапанный двигатель; 07 — нормы России, 1,5 л, 16 клапанов; 08 — Евро-3, 1,5 л, 16 клапанов; 13 — нормы России, 1,5 л, 8 клапанов; 16 — Евро-3, 1,5 л, 8 клапанов.

Четвертая группа — индекс уровня программного обеспечения (от A до Z): чем дальше от начала алфавита, тем совершеннее программа.

Пятая группа — две цифры версии калибровки: чем больше номер, тем новее калибровка.

Таким образом, M1V13054 обозначает: программное обеспечение блока управления Bosch M1.5.4, предназначенного для переднеприводных автомобилей ВАЗ с 1,5-литровыми 8-клапанными двигателями, выполняющими экологические нормы России, уровень программы — 0, версия калибровки — 54.

Несмотря на то что блоки разных семейств отличаются схемотехникой и алгоритмом работы, некоторые из них полностью взаимозаменяемы. Цоколевка разъемов, габаритные и присоединительные размеры у них одинаковые.

Сегодня на большинство переднеприводных автомобилей устанавливаются контроллеры Bosch M1.5.4 или «Январь-5».

Модификации блоков управления предназначены для 8- и 16-клапанных моторов (как с каталитическим нейтрализатором и лямбда-зондом, так и для впрыска без обратной связи).

У двигателей автомобилей комплектации Евро-3 впрыск топлива фазирован, т. е. форсунки срабатывают «персонально» для каждого цилиндра, один раз в четыре такта, а не по упрощенной попарно-параллельной схеме, как у Евро-2.

1. Обесточивать блоки управления можно не раньше чем через 30 с после выключения двигателя. При этом надо помнить, что в блоке будет стерта информация из оперативной памяти, если не будет питания. Для того чтобы восстановить утерянную информацию, необходимо запустить двигатель и дать ему прогреться до рабочей температуры. При пуске двигателя после отключения аккумулятора некоторое время будет гореть контрольная лампа, что не является неисправностью.

2. На всех впрысковых машинах после неудачной попытки пуска «залитые» свечи можно просушить, включив режим продувки. Для этого надо плавно нажать на педаль газа и на 5–10 с включить стартер. Блок управления отключит подачу топлива (это касается не только вазовских моделей).

3. Все контроллеры выполнены таким образом, что при температуре окружающего воздуха до 25°C они сохраняют работоспособность с напряжением питания 18 В в течение 2 ч. При напряжении 24 В они гарантированно сохраняют

свою работоспособность не менее 5 мин. Случаев выхода из строя контроллеров по причине повышенного напряжения в бортовой сети, даже в случае отказа регулятора напряжения, не зафиксировано.

4. Контроллеры автомобилей «десятого» семейства совместимы с бортовым компьютером 2114-3857010 (16.3857). Блоки управления впрысковых «Самар-2» совместимы с бортовым компьютером 2114-3857010 (15.3857).

5. В целях блокирования пуска двигателя при установке охранной сигнализации на впрысковых двигателях автомобилей ВАЗ с контроллерами типа М1.5.4 или «Январь-5.1» недопустимо разрывать:

- любой из проводов управления модуля зажигания;
- любой из проводов управления бензонасосом;
- любой из проводов управления форсунок;
- замыкать между собой либо замыкать на «массу» провода индуктивного датчика;
- провод, соединяющий 15-ю клемму контроллера (сигнал зажигания на систему управления двигателем) с 18-клеммной колодкой;
- «плюсовый» или «массовый» провод реле бензонасоса.

Можно замыкать между собой через резистор К70 + 1К0 провода (сигнальный и питания) датчика положения дроссельной заслонки.

На рис. 9.18 приведена МСУД с контроллером «Январь-4» автомобиля ВАЗ-21102. Охарактеризуем основные ее элементы, а также их влияние на обеспечение эксплуатационных возможностей и перспективную МПСУД автомобилей ВАЗ.

Датчик массового расхода воздуха. Характерная неисправность — обрыв проводов к датчику, о которой просигнализирует контрольная лампа Check Engine. Обороты холостого хода поднимаются до 2000 об/мин. При движении на отдельных режимах возможна детонация. Но если плавно давить на газ, ее можно избежать.

Иногда, когда датчик выходит из строя, он может выдавать неверный сигнал (характерно для частотных датчиков), причем это не приводит к занесению кода неисправности в память контроллера. Тогда при движении даже без разгона возникают большие провалы и холостой ход становится нестабильным, что может привести к остановке двигателя. Для того чтобы продолжить движение, надо снять разъем с датчика и вести машину так, как описано выше.

Обозначение выводов на датчике, к сожалению, отсутствует, поэтому при проверке надо ориентироваться по цвету проводов, подходящих к датчику: оранжевый провод — вывод A (или 1), на нем должно быть напряжение 4–6 В; центральный вывод B (2) — «минус»; к выводу C (3) подводится «полосатый» провод и на нем должно быть +12 В. В цепи питания датчика (вывод C) стоит предохранитель на 20 А, расположенный рядом с контроллером, об этом надо помнить при проверке датчика.

Датчик положения дроссельной заслонки. При закрытом положении заслонки сигнал, выдаваемый датчиком, равен 0,5–0,6 В, а при открытом — 4,5–4,8 В.

Данные о положении дроссельной заслонки необходимы блоку управления для расчета длительности электрических импульсов управления форсунками и определения оптимального угла опережения зажигания.

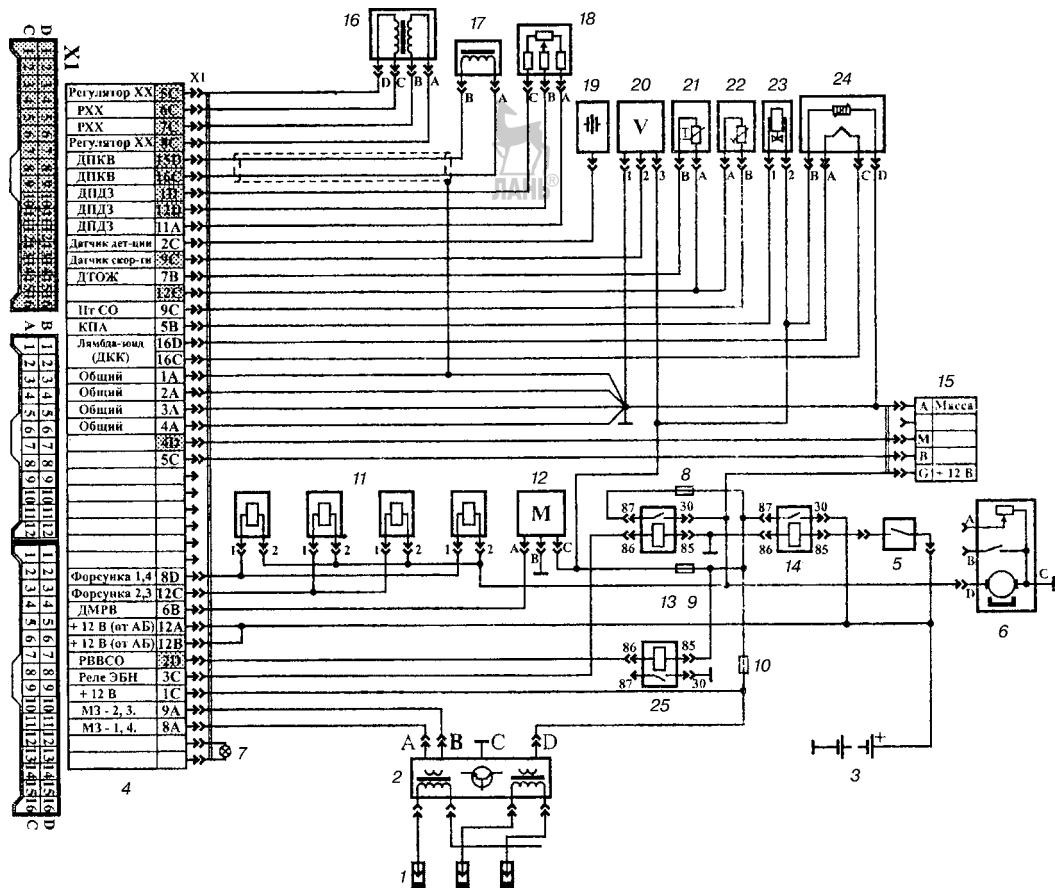


Рис. 9.18
Схема микропроцессорной системы управления

восьмиклапанным двигателем с контроллером «Январь-4» автомобиля ВАЗ-21102:

- 1 — свечи зажигания; 2 — модуль зажигания (42.3705); 3 — аккумуляторная батарея; 4 — контроллер; 5 — выключатель зажигания; 6 — электробензонасос; 7 — контрольная лампа диагностики МСУД; 8—10 — предохранитель; 11 — форсунки; 12 — датчик массового расхода воздуха; 13 — реле электробензонасоса; 14 — реле включения питания системы впрыска; 15 — колодка диагностики; 16 — регулятор холостого хода; 17 — датчик (частоты вращения и синхронизации) положений коленчатого вала; 18 — датчик положения дроссельной заслонки; 19 — датчик детонации; 20 — датчик скорости; 21 — датчик температуры охлаждающей жидкости; 22 — СО-потенциометр (для машин, эксплуатируемых на этилированном бензине); 23 — клапан продувки адсорбера; 24 — датчик концентрации кислорода (подогреваемый лямбда-зонд); 25 — реле включения вентилятора системы охлаждения; X1 — разъем контроллера.

Потенциометрические датчики положения дроссельной заслонки вприсковых двигателей ВАЗ обычно выходили из строя из-за износа токопроводящих дорожек резистивной пластины и неверно подобранного усилия пружины, прижимающей резистивную пластину к контактам разъема. К 2000 г. эти недостатки были устранены.

Нередко попадаются бракованные датчики российского производства, которые выдают нестабильный сигнал 0,25–0,7 В при закрытой дроссельной заслонке.

Признаком неисправного датчика являются повышенные или плавающие обороты холостого хода.

Для контроллеров следующего поколения уже разработан новый бесконтактный датчик. В нем используются магниторезистивные чувствительные элементы, которые не контактируют непосредственно друг с другом.

Датчик температуры охлаждающей жидкости представляет собой терморезистор, у которого с повышением температуры уменьшается сопротивление (25°C — 2796 Ом; 20°C — 3520 Ом; 15°C — 4450 Ом; 10°C — 5670 м; 5°C — 7280 Ом). На переднеприводных ВАЗах он установлен сверху на выпускном патрубке системы охлаждения и при тряске задевает за корпус воздуховода, что приводит к повреждению проводов.

Иногда у разъема датчика обрываются провода. Признаками такой неисправности служит включение вентилятора при низкой температуре двигателя и переобогащенная смесь (черный дым из выхлопной трубы), при этом загорается контрольная лампочка.

Когда в разъем датчика попадает грязь, смесь будет обогащенной, а обороты холостого хода нестабильными. При загрязнении контрольная лампа не горит.

Если двигатель не глушить (он может не завестись), то ехать, избегая резких разгонов, можно.

Однако на автомобилях с блоком управления M1.5.4 отмечается позднее включение вентилятора, когда охлаждающая жидкость почти кипит.

Датчик детонации General Motors или 12.3855 (Калуга) в системе впрыска General Motors — резонансный, вкручивается непосредственно в блок цилиндров. Коэффициент преобразования на частоте резонанса (при номинальной нагрузке — 4 кОм) равен 1,2–1,9 В/г. В системе впрыска Bosch — широкополосный, крепится на специальную шпильку.

Датчик генерирует импульсы, соответствующие шуму двигателя. Характерная неисправность — обрыв провода, ведущего к датчику. В этом случае в память кодов неисправностей блока управления заносится код и загорается контрольная лампа. Движение возможно, но динамика ухудшится.

Датчик скорости. 6-импульсные датчики скорости используются на автомобилях с системой впрыска, 10-импульсные предназначены для карбюраторных машин «десятого» семейства. На первых датчиках были круглые разъемы, на более поздних — прямоугольные колодки. Попадаются датчики с разъемом прямо на корпусе, так называемые беспроводные, однако они не подходят «Самарам» — нет входа для троса спидометра.

Датчик состоит из статора с микросхемой Холла и ротора с магнитом. Схема подобна той, что применяют в распределителе зажигания обычной карбюраторной «Самары». Сигнал с датчика скорости используется только в режиме принудительного холостого хода (при торможении двигателем). Ставят датчик на коробке передач между приводом и тросом спидометра.

В импортном датчике скорости обычно ломается пластмассовый валик привода (не выдерживает вибраций при работе червячного привода спидометра). У отечественного датчика валик металлический, однако повреждения возникают в его электронной части.

При поломке датчика загорается контрольная лампа.

Если на автомобиле установлен контроллер General Motors или «Январь-4», двигатель заглохнет на принудительном холостом ходу (при отпусканье педали газа после разгона или продолжительном движении со скоростью 80 км/ч и выше). Чтобы этого не происходило, надо принудительно приоткрыть дроссельную заслонку, например, отрегулировав длину троса привода.

Датчик (фазы) положения распределительного вала двигателя. На вазовских 16-клапанных двигателях с фазированным впрыском датчик фазы, определяющий момент такта сжатия в 1-м цилиндре, установлен с левой передней стороны головки цилиндров. Он реагирует на вращение стального диска с прорезью, соосного с впускным распредвалом. Длительность сигнала пропорциональна величине прорези, а амплитуда зависит только от напряжения питания.

Датчик (частоты и синхронизации) положения коленчатого вала. На ВАЗ-2110, -2112 с распределенным впрыском датчиком синхронизации управляет специальный диск (шкив) с расчетом на 60 зубьев, но выполненный без двух зубьев, расположенных на диаметрально противоположных сторонах диска, отсутствие которых позволяет формировать импульсы синхронизации. Такой диск расположен на шкиве привода генератора, а датчик положения коленчатого вала — на крышки масляного насоса. При зазоре между сердечником датчика и зубом диска $1,4 \pm 0,05$ мм и частоте 30 ± 5 об/мин минимальная амплитуда переменного напряжения на выходе должна быть не ниже 0,28 В. Итак, сигнал будет там, где отсутствующие зубья нарушают форму сигнала.

Датчик положения коленвала — единственный в системе, без которого двигатель работать не будет, однако он весьма надежен. Правда, бывают случаи потери контакта в разъеме. Сопротивление исправного датчика — 50–70 кОм.

Чтобы убедиться в поломке датчика или его электрической цепи, достаточно снять разъем с одной из форсунок, подсоединить к нему лампочку на 12 В, 0,25 А, снять высоковольтный провод со свечи того же цилиндра и вставить в него запасную свечу. Если лампочка при включенном стартере не мигает и искры на свече нет, значит, поврежден датчик или провод.

Если форсунки и свечи работают, а двигатель не заводится, скорее всего, сбились фазы управления работы форсунок и катушек зажигания. Существуют два типа шкивов коленчатого вала — чугунные и стальные. У стального шкива (первоначально устанавливались на двигатели ВАЗ-2111) внутренний диск крепится болтом к коленчатому валу со штифтом. На резиновое кольцо (демпфер) для уменьшения вибрации наложен наружный зубчатый диск. Иногда из-за плохой вулканизации резина отрывается от одного из дисков, и они смещаются. В результате импульсы на форсунки и зажигание приходят не вовремя. Чугунный шкив предпочтительней, поскольку он цельный.

Регулятор холостого хода, выпускаемый Калужским заводом телеграфной аппаратуры (ФГУП КЗТА), применяется на двигателях различной моди-

ификации: 2112-114300-02 — на двигателях ВАЗ-2111, -2112; 21203-1148300 — на двигателе ВАЗ-21203 (16-клапанный, 115 л/с, Евро-3). Отличаются регуляторы в основном размерами клапана.

Работа регулятора основана на том, что шаговый двигатель приводит в движение шток с клапаном — именно он дозирует поступающий в ресивер воздух. Если регулятор холостого хода «сбьется» с шага, двигатель известит об этом повышенными оборотами или заглохнет.

Основные части шагового двигателя: статор с парой катушек и ротор на двух опорах, в который запрессована втулка с внутренней резьбой, — по ней «шагает» шток.

Причины сбоев в работе регуляторов выпуска 1997 и 1998 гг. — неправильный подбор смазки, что сказывалось на работе регулятора при низких температурах, и низкое качество материалов штока и ротора. Как утверждают на заводе, эти недостатки устранены.

Примечание. Если автомобиль долго стоит на приколе, может зависнуть (заклинить) шток регулятора холостого хода.

Модуль зажигания 42.3705 состоит из двух двухискровых (с двумя высоковольтными выводами) катушек зажигания двухканального коммутатора, установленных и залитых в одном корпусе. После пропитки КЗ устанавливаются в корпус, который наполовину заполняют компаундом. Затем монтируют электронный блок и заливают модуль полностью. Катушки полимеризируются (пропитываются) эпоксидным компаундом в глубоком вакууме. При несоблюдении технологии срок службы этого компонента, а соответственно и модуля, сокращается в несколько раз.

Признаки неисправности модуля зажигания разнообразны: от перебоев на отдельных режимах до остановки двигателя. Контрольная лампа при этом не загорается. Причина же неисправностей была в основном одна. До апреля 1999 г. модули заливались силиконовым компаундом, который плохо прилипал к корпусу и был недостаточно пластичным. Нагреваясь, силикон отслаивался от пластмассы и в образовавшиеся трещины попадала влага, после чего блок выходил из строя.

С апреля 1999 г. вместо силиконового компаунда используют полиуретановый. После этого число отказов сократилось на 80%.

Модуль зажигания, выпускавшийся московским заводом (МЗАТЭ-2, ранее АТЭ-2), применяется с контроллерами Bosch и «Январь-5», системам управления с блоками General Motors и «Январь-4» этот модуль не подходит.

Лямбда-зонд (датчик кислорода) и каталитический нейтрализатор. Современные системы впрыска выполняют в двух вариантах — с обратной связью и без нее. Обратная связь предполагает наличие лямбда-зонда (датчика концентрации кислорода) в приемной трубе и каталитического нейтрализатора отработанных газов.

Состав выхлопных газов по токсичности должен удовлетворять современным требованиям, поэтому попадающая в цилиндры смесь должна быть несколько обедненной ($X > 1$, где X — коэффициент избытка воздуха, определяется массовым соотношением паров бензина и воздуха). Чтобы 1 кг

бензина нормально сгорел, требуется $14,7$ кг воздуха, и у такой смеси $X = 1$. При избытке воздуха смесь обедняется и $X > 1$ (у обогащенной смеси $X < 1$), тогда выхлопные газы содержат некоторое количество кислорода. Именно его отслеживает лямбда-зонд — важнейший элемент обратной связи состава выхлопных газов с контроллером, который управляет системой по показаниям датчика кислорода и корректирует подачу топлива в цилиндры (управляет форсунками), поддерживая оптимальный состав рабочей смеси. При соотношении воздуха и топлива в смеси $14,7:1$ (оно называется стехиометрическим) каталитический нейтрализатор наиболее эффективно снижает количество углеводородов и окислов азота, выбрасываемых с отработанными газами. Чтобы оптимизировать состав отработанных газов с целью наибольшей эффективности работы нейтрализатора, применяется управление подачей топлива по замкнутому контуру с обратной связью по наличию кислорода в отработанных газах.

Рассматриваемые системы рассчитаны на применение неэтилированного бензина. При использовании этилированного бензина (с тетраэтилсвинцом) свинец, осаждающийся на датчике, выводит его из строя. Контроллер, не получая необходимого сигнала, начинает работать в аварийном режиме, сильно обогащая смесь, и в нейтрализатор попадают излишки бензина. Его «начинка», расплавляясь, превращается в преграду для выхлопных газов. Мощность двигателя падает, расход топлива увеличивается, обороты холостого хода становятся нестабильными.

На переднеприводных автомобилях датчик кислорода находится под кузовом в месте соединения приемных труб выпускного тракта. При разрушении датчика (например, от удара) происходит короткое замыкание в цепи его подогрева, вследствие чего перегорает предохранитель. А поскольку он защищает еще датчики массового расхода воздуха и положения дроссельной заслонки, они обесточиваются. Тогда блок управления работает по сигналам датчиков положения коленчатого вала и температуры охлаждающей жидкости.

При повреждении датчика загорается контрольная лампа.

В автомобилях «Нива» с двигателем 21214-10 или 2123-30 (1,7 л, распределенный впрыск, Евро-3) устанавливаются два лямбда-зонда — один перед нейтрализатором, другой — после него, чтобы отслеживать эффективность работы. Управляют ими контроллер Bosch MP7.0 с мощными возможностями самодиагностики (одно из требований норм Евро-3). У этих двигателей выпускной коллектор сделан не из чугуна, он сварен из стальных штампованных заготовок с целью снизить массу и теплоемкость. Теперь, после пуска холодного двигателя почти все тепло выхлопных газов идет на прогрев нейтрализатора, что позволяет быстрее приводить его в рабочее состояние. Чтобы приемная труба не рассеивала тепло зря, на нее надета изоляция из специального базальтового волокна.

В автомобилях «Нива» с двигателем 21214 (1,7 л, центральный впрыск, Евро-3) датчик кислорода устанавливается в выпускном коллекторе. Управляют им контроллер TMS-6F (Евро-2). Чувствительный элемент находится в потоке отработанных газов, и датчик генерирует сигнал в диапазоне

10–1000 мВ. Это выходное напряжение зависит от наличия или отсутствия кислорода в отработанных газах и от температуры чувствительного элемента датчика.

Когда датчик находится в холодном состоянии, выходной сигнал отсутствует, поскольку его внутреннее электрическое сопротивление очень высокое — несколько МОм. Контроллер же выдает в цепь датчика стабильное опорное напряжение 450 мВ. И пока датчик не прогрет, контроллер воспринимает только указанное опорное напряжение. По мере прогрева лямбда-зонда его внутреннее сопротивление уменьшается и он начинает генерировать постоянно меняющееся напряжение. Контроллер следит за этими изменениями и выходом за пределы диапазона среднего напряжения (300–550 мВ) для определения момента перехода на режим управления топливоподачей по замкнутому кругу.

Датчик эффективно работает при температуре не ниже 350°C. Для быстрого прогрева лямбда-зонд снабжен внутренним электрическим подогревающим элементом. В процессе работы контроллер включением-выключением подогревателя управляет температурой датчика.

Если температура лямбда-зонда выше 360°C, то в момент перехода через точку стехиометрии (700–800 мВ) низкий уровень сигнала соответствует бедной смеси (наличие кислорода), высокий — богатой (кислород отсутствует). Такое резкое падение напряжения датчика при переходе от обогащенных к обедненным смесям позволяет определить стехиометрический состав смеси с погрешностью не более $\pm 0,5\%$.

При нормальной работе системы подачи топлива в режиме замкнутого контура выходное напряжение датчика изменяется несколько раз в секунду от низкого до высокого уровня и наоборот.

Если контроллер длительно получает сигнал, свидетельствующий об обедненной или обогащенной смеси, в его память заносится соответствующий код неисправности. Причиной неисправности в первом случае может быть замыкание на массу выходной цепи датчика, негерметичность системы выпуска воздуха или пониженное давление топлива; во втором — замыкание на другой источник питания выходной цепи или повышенное давление топлива. Коды неисправности порождают сохранение режима подачи топлива по разомкнутому контуру или возврат к нему.

Нередки сбои в работе системы после антикоррозийной обработки автомобиля, из-за чего в датчике кислорода забивается отверстие для воздуха. Но в этом случае неверный сигнал удается определить только диагностическим способом.

Если лямбда-зонд вышел из строя, не пытайтесь поставить вместо него резистор — контроллер все равно будет показывать ошибку, поскольку сигнал с датчика должен постоянно меняться.

Вышедшие из строя датчики содержания кислорода в отработанных газах и нейтрализаторы можно заменить только новыми. Датчик AFS-62 General Motors взаимозаменяем с Bosch AFS-79 или LHS-24. При температуре двигателя ниже 40°C такая замена затруднена, повышенное усилие может повредить резьбу выпускного коллектора.



Каталитический нейтрализатор — это керамический блок со множеством продольных каналов, площадь отверстий которых 1 мм^2 и толщина стеки $0,1\text{--}0,5 \text{ мм}$. На внутреннюю поверхность этих сот-трубок напылен рабочий слой. Проходя вдоль ячеек катализатора, выхлопные газы при высокой температуре подвергаются нейтрализации и превращаются в безопасные двуокись углерода, водяной пар и азот. Есть и более сложные конструкции, но основной принцип действия тот же. Нейтрализаторы снижают токсичность выхлопа на 90%.

Если двигатель выдает положенную мощность, разгон интенсивный, тяга на высоких оборотах хорошая, содержание CO и CH достаточно низкое, значит, нейтрализатор исправен. Если содержание вредных веществ в выхлопе повысилось, но все еще в пределах нормы, — вероятно, уменьшилась площадь активной поверхности каталитического нейтрализатора (из-за применения этилированного бензина или естественного старения) или неисправна система управления двигателем (неисправность свечи зажигания, лямбда-зонд дает сбои, переливают форсунки).

Поэтому, прежде чем менять нейтрализатор, проверьте работу этих элементов, при необходимости промойте топливную систему.

При подозрении, что нейтрализатор забит (двигатель теряет мощность), отсоедините его переднюю часть и опробуйте автомобиль на ходу. Если теперь машина легко разгоняется, значит, нейтрализатор из полезного устройства превратился в ограничитель мощности. Но прежде чем заменить, вспомните, сколько бензина и масла уходило в последнее время. Если расход велик, не спешите устанавливать новый нейтрализатор: вполне возможно, что вскоре его постигнет та же участь. «Переливающие» форсунки, пропуски в работе свечей, многократные безуспешные попытки пуска ведут к тому, что излишки топлива, дрогая в нейтрализаторе, перегревают его и плавят соты. То же происходит и при перерасходе масла. Вывод: изношенный мотор угробит любой нейтрализатор, уж лучше удалить его из системы, пока он не расплавился и не «задушил» двигатель.

Бывает, что раскалившись нейтрализатор поджигает траву под автомобилем. Проблему можно решить двумя путями:

1. отключить лямбда-зонд, снять нейтрализатор и установить в блок управления микросхему памяти, которая позволит ему работать, не учитывая концентрацию кислорода;

2. отремонтировать систему впрыска и установить новый датчик, нейтрализатор.

Самая примечательная особенность систем с обратной связью — способность в процессе эксплуатации адаптироваться к конкретному автомобилю, состоянию трансмиссии и двигателя, заносить коррекции в блок самообучения. Но все изменения держатся в памяти до тех пор, пока система не будет обесточена. Именно поэтому на впрысковых автомобилях с обратной связью не стоит без особой необходимости отключать аккумуляторную батарею. После каждого такого отключения системе придется восстанавливать информацию заново. Конечно, двигатель запустится и ехать можно, но некоторое время контроллер будет привыкать к автомобилю и работать неопти-

мально. Этот процесс может занимать два часа и более, в зависимости от режимов работы двигателя.

Электробензонасос. Поскольку на «Самары» монтируют разные панели приборов (2108 — низкая, 21083 — высокая) со своими, отличающимися друг от друга указателями уровня топлива, соответственно датчики уровня топлива (расположены на бензонасосе) тоже существуют в двух вариантах: 21083 — для «Самар» с высокими панелями приборов (сопротивление датчика: 25 кОм — при пустом баке, 20 Ом — при полном) и 2112 — для автомобилей с «Торпедо» 2108, 2110 и 2115 (сопротивление: 35 кОм — при пустом баке, 6–10 Ом — при полном).

Иными словами, бензонасосы в сборе с датчиками для автомобилей с высокой панелью имеют желтую метку в зоне стрелки (при установке бензонасоса стрелка должна смотреть назад) и для низкой — без метки или с черной меткой. Сами же электробензонасосы одинаковы, и если их случайно перепутать, худшее, что ожидает, — неправильные показания указателя уровня топлива, а на работе двигателя это не отразится.

Чтобы продлить срок службы бензонасоса и не дать ему заржаветь, необходимо заливать бензин через мелкую сетку или в сомнительных случаях использовать присадки, связывающие воду в топливе.

Свечи зажигания у 8- и 16-клапанных двигателей собственные: у последних размер шестигранника меньше, под ключ на «16». Заводом рекомендованы отечественные свечи А17ДВРМ и АУПДВРМ соответственно. Из импортных можно использовать Bosch W7DC, Champion RN9YCC4 или RN9YC4. Зимой лучше использовать Bosch W6DC или AC Delco R43XLS. Зазор между электродами свечи должен быть 1–1,15 мм.

Форсунки различных производителей (Bosch, General Motors или отечественные) взаимозаменяемы по посадочным местам, но лучше менять их комплектом, так как распылители топлива разные.

Рано или поздно владельцы «впрысковых» машин сталкиваются с неисправностью системы, обеспечивающей подачу бензина в цилиндры. Наиболее частая причина — закоксовывание топливных форсунок. На седлах форсунок и на концах запорных элементов со временем появляются твердые смолистые отложения, которые являются причиной отказа форсунок. После остановки горячего двигателя из пленки топлива, оставшейся на штифтах и внутренних поверхностях распылителей, что ниже запорного клапана, испаряются легкие фракции. Тяжелые остаются на деталях, ведь смывать их в это время нечем — свежие порции топлива не поступают к распылителю и запорные клапаны форсунок закрыты. Из этих фракций и образуются смолистые отложения. Накапливаясь, они препятствуют запорному конусу плотно сесть на седло, вследствие чего нарушается герметичность форсунки. Остаточное давление топлива в рампе после остановки мотора еще некоторое время сохраняется. Оно потихоньку проталкивает бензин через негерметичный клапан, и процесс закоксовывания идет интенсивнее.

Проходное сечение сопла форсунки — это кольцевая щель, образованная корпусом распылителя и штифтом. С появлением отложений просвет «зарастает» и уменьшается. Давление топлива в форсунке на работающем двигателе

постоянно, а время действия управляющего импульса и соответственно продолжительность ее открытия определяются электроникой. Анализируя состав выхлопных газов, а точнее, долю в них кислорода, она отдает команду форсункам увеличить подачу, растягивая впрыск. Кроме того, с потерей герметичности ухудшается отсечка топлива. Вместо того чтобы резко оборвать факел, отправив всю порцию во впускной канал, окончание впрыска происходит плавно. Тем временем топливо продолжает бесполезно сочиться из закрытого распылителя. Нарушается и форма факела — значит, часть топлива попадет не в просвет впускного клапана, а, к примеру, на его стенки, и в цилиндр поступит меньше бензина. Также отложения ухудшают однородность распыливания. Из форсунок полетят крупные капли, не успевающие испариться, перемешаться с воздухом и сгореть в цилиндрах. Итак, происходит рассогласование работы системы впрыска, результатом чего являются: затрудненный пуск, неустойчивый холостой ход, провалы при разгоне, повышенный расход топлива, потеря мощности.

Чтобы избежать подобных проблем, производители аппаратуры пытаются воспрепятствовать появлению отложений: совершенствуют конструкцию форсунок, применяют новые материалы, достигают очень высокой точности изготовления. Нефтяные компании выпускают высококачественные бензины с моющими присадками. И все же форсунки приходится чистить, особенно если пробег автомобиля превышает 100 тыс. км и сопряжен с эксплуатацией на низкокачественном бензине с тяжелыми фракциями. Кстати, поэтому нежелательно использовать топливо из многомесячных запасов, хранящихся в бочках или канистрах. Выпавшие из него смолы быстрее забивают фильтры и оседают на распылителях, ускоряя образование отложений.

Гораздо реже встречается другая причина неудовлетворительной работы форсунок — загиб входных фильтров. Они гарантируют чистоту топлива, поступающего в форсунки, отсекая особо мелкие включения, проникшие через магистральный фильтр тонкой очистки топлив. Поглощающая способность их невелика, а засорившись, они оставляют форсунки на «голодном пайке». Чтобы этого не допустить, нужно внимательно следить за состоянием фильтра тонкой очистки топлива и не заливать в бак бензин плохого качества.

Очищают систему с помощью специальных присадок к топливу (Fuel Injector Cleaner). При регулярном применении они поддерживают форсунки в хорошем состоянии дольше обычного, растворяя отложения — кроме наростов, почти закрывающих проходное сечение распылителя. К тому же, присадка эффективно очищает бак и подающий топливопровод (до и после фильтра), после чего хлопья загрязнений могут попасть к форсункам, намертво закупорив их входные фильтры. Вот почему на сервисных станциях применяют специальные устройства для очистки форсунок.

Наиболее распространен метод очистки на работающем двигателе — самый простой и достаточно эффективный. Специальная установка подает топливо на вход топливной рампы (в системах распределенного впрыска) или к форсунке центрального впрыска (последняя в силу конструктивных особенностей меньше склонна к образованию отложений, или карбонизации).

Штатную систему топливоподачи — бак, электробензонасос, фильтр тонкой очистки и трубопроводы — естественно, отключают, двигатель работает на специальном сольвенте-декарбонайзере, который служит одновременно и топливом, и очистителем. Так как автомобиль при этом неподвижен и двигатель не нагружен, от чистящего сольвента не требуется обеспечивать заданные мощные характеристики, детонационную стойкость и т. п. Поэтому стремится усилить именно моющие свойства сольвента, чтобы резко повысить эффективность очистки по сравнению с добавками в топливо. Время очистки — 20–30 мин. Примерно столько же уходит на подсоединение-разъединение топливных шлангов и отключение штатного бензонасоса — все зависит от конструкции и компоновки системы впрыска.

Самых же очистительных агрегатов, как и химических составов для очистки, сегодня множество. Специалисты «Иномотора» провели сравнительный анализ эффективности различных сольвентов и устройств для очистки. Вывод: все устройства близки по конструкции, своим возможностям и различаются лишь ценой. А вот у чистящих сольвентов эффективность разная. Лучшим оказался сольвент Carbol Clean. По отзывам еще нескольких фирм из Ангарска, Краснодара, Москвы, Новосибирска, Тольятти этот концентрат ощутимо (в среднем на 15–20%) эффективнее других. Соответственно расход его меньше и очистка идет быстрее.

Перепробовав несколько установок, предпочтение отдали устройству фирмы ОТС — известного американского производителя диагностического оборудования. В нем сольвент к форсункам подается давлением сжатого воздуха, причем можно воспользоваться даже ножным насосом. К тому же, не нужно присоединять специальный шланг обратного слива.

Эффективность этого метода высока. По статистике, 85% двигателей, прошедших очистку, на всех режимах работают существенно лучше, чем прежде.

В заключение нужно отметить, что неудовлетворительная работа двигателя неизбежно связана с загрязнением форсунок. Она может быть следствием неисправностей каких-либо других элементов в системах зажигания, впрыска и т. п. Поэтому, прежде чем чистить форсунки, надо провести комплексную диагностику двигателя и его систем.

9.3.1. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ МПСУД

Природный газ считают наиболее перспективной альтернативой нефтяному топливу — по масштабам запасов, энергетической ценности, экологическим параметрам.

Газовая часть отличается высоким техническим уровнем: система питания — самого современного, четвертого поколения. Она обеспечивает фазированный впрыск газового топлива, выполнение экологических норм Евро-3, а в перспективе Евро-4, исключает вмешательство водителя в свою работу, отвечает за безопасность.

Подачу газа от топливного баллона к форсункам осуществляет клапанно-редукторная группа, основанная на элементах (включая заправочное

устройство) системы САГА-7, серийно изготавливаемых АО «ИНКАР». Все приборы топливоподачи для газа снабжены предохранительным дренажем (отвод газа за пределы автомобиля), а высокочувствительные диагностические датчики регистрируют малейшую утечку топлива. Сигналы от датчиков поступают на блок управления двигателем. Как было сказано, при возникновении утечки подача газа из топливного баллона автоматически прекращается, а двигатель без вмешательства водителя переводится на бензиновое топливо.

Во впускной коллектор газ подают специальные форсунки производства саратовского НЦ «Авангард». Они установлены во впускной трубе, конструкция которой претерпела незначительные изменения. Обычные, бензиновые, для работы на газе непригодны.

Электронный блок «командует» работой двигателя и на бензине, и на газе. Для газового топлива необходимы лишь соответствующие «калибровки» — ведь датчики, контролирующие работу двигателя, одни и те же.

Экспериментальные контроллер и катушка зажигания. Новая катушка зажигания — это пьезоэлектрический трансформатор. На него подается ток низкого напряжения и большой силы, а снимаются необходимые для пробоя искрового промежутка 25 кВ. Чтобы такой процесс стал возможен, в теле пьезоэлемента надо возбудить колебания, поэтому управляющее напряжение представляет собой не одиночный импульс, а систему высокочастотных (40–60 кГц) колебаний. Соответственно и на выходе получим не одну искру, а непрерывный дуговой разряд с энергией до 200 мДж, состоящий из 60–100 следующих друг за другом искр. Причем поддерживать его можно сколь угодно долго. Надежность воспламенения топливного заряда и полнота сгорания значительно повышаются, а значит, больше будет мощность и меньше вредных выбросов.

Обычный контроллер, управляющий впрыском и зажиганием, для новой системы не подходит и не только потому, что не может вырабатывать напряжение ультразвуковой частоты 250–300 Гц. В обычной системе зажигания ток в первичную обмотку катушки подается до момента новообразования (чтобы в сердечнике накопилась энергия магнитного поля), а сама искра образуется почти сразу за разрывом цепи первичной катушки. В пьезоэлектрическом зажигании разряд возникает лишь через 0,3–0,5 мс после подачи на кристалл высокочастотного напряжения и длится вплоть до его выключения.

10



КАЛИБРОВКА, АДАПТАЦИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ

10.1. КАЛИБРОВКА И АДАПТАЦИЯ

10.1.1. ЦЕЛИ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ КАЛИБРОВКИ

Калибровка МПСУ есть процесс выбора конкретных значений управляющих воздействий на двигатель в зависимости от его параметров и возмущающих воздействий для внесения их в запоминающее устройство микроконтроллера.

При создании и отработке МПСУ можно выделить четыре различных ситуации, требующих выполнения определенного и разного объема калибровочных работ:

1. Конструирование нового двигателя, на котором предполагается применить новую систему управления.

2. Создание новой системы управления к существующему двигателю.

3. Адаптация существующей базовой МПСУ к новому или модифицированному двигателю.

4. Калибровка существующей МПСУ в связи с внесением изменений в характеристики двигателя, автомобиля или из-за изменений требований к ним. При возможных поставках автомобиля в другие страны необходимо учитывать климатические условия этих стран, характеристики применяемых там топлив, действующие экологические нормы.

Создание нового двигателя, удовлетворяющего определенным техническим требованиям, обычно начинают с выбора концепции, т. е. такого комплекса конструктивно-технологических мероприятий и способов управления рабочими процессами, который потенциально должен позволить достигнуть желаемых результатов. Существует большое число способов управляющего воздействия на работу двигателя. Чем больше их используется, тем более полного удовлетворения противоречивым требованиям, предъявляемым к современным двигателям, можно добиться. Естественно, при этом будут расти сложность и стоимость конструкции.



Широкое применение микропроцессорного управления двигателями привело к тому, что уже на стадии концепции необходимо принимать решения и о концепции системы управления. Другими словами, уже на стадии проектирования двигателя в его конструкцию должны быть заложены возможности комплексной организации управления рабочим процессом и системами. При этом появляется возможность выбора не только структуры, но и принципов работы системы управления двигателем. Только в этом случае можно получить действительно эффективное использование системы управления.

Обычно калибровка предусматривает выполнение следующего комплекса работ:

1. Калибровка измерительных каналов.

2. Определение матриц управления воздействиями, которые можно рассматривать как независимые. К таким управлениям можно отнести, например, выбор момента переключения заслонок, управляющих длиной впускных патрубков.

3. Выбор в стендовых условиях базовых матриц управления всеми связанными управляющими воздействиями. Если в МПСУ применено управление с использованием аналитических эталонных модулей, такие модели должны быть идентифицированы.

4. Определение матриц коррекции управления по возмущающим воздействиям.

5. Выбор управления на специальных режимах (пуск, прогрев, холостой ход и др.).

6. Коррекция выбранных управлений на динамических режимах, которую проводят на динамических моторных стендах или на автомобиле, установленном на беговых барабанах. При этом прежде всего выбирают коррекцию управления на режимах разгона и быстрого увеличения нагрузки.

7. Проверка и уточнение выбранных управлений при дорожных испытаниях с учетом ездовых качеств.

8. Сертификация автомобиля на беговых барабанах в соответствии с требованиями стандартов.

Трудоемкость процесса калибровки велика. Так, по данным фирмы AVL, при доводке нового двигателя калибровка МПСУ выполняется в несколько итераций, каждая из которых может потребовать до года калибровочных работ на моторных стенах и года работ на автомобиле.

Сложность и трудоемкость выполнения калибровочных работ обусловлена в основном следующими факторами:

- использованием в современных МПСУ двигателем многопараметрического связанного алгоритма с числом управляющих воздействий 6–8 и более, что приводит к необходимости решать многофункциональные оптимизационные задачи с использованием вычислительной техники;
- большим числом часто противоречивых требований, предъявляемых к двигателю и автомобилю, компромиссные же решения предполагают рассмотрение многокритериальных оптимизационных задач или задач с большим числом ограничений;

- принятой методикой испытания автомобиля по ездовым циклам для определения его интегральных экономических и экологических показателей, это затрудняет выбор управлений на индивидуальных режимах работы;
- технической сложностью проведения испытаний двигателя, особенно на динамических режимах, что требует применения специальных автоматизированных стендов и современных измерительных приборов.

10.1.2. ТЕХНОЛОГИЯ КАЛИБРОВКИ

Длительность калибровочных работ на стенде и автомобиле может быть значительно сокращена, если использовать прогрессивные интеллектуальные технологии, специальные стендовые отладочные комплексы и автоматизированные экспериментальные установки.

Необходимость использования специальных стендов и бортовых отладочных комплексов связана с тем, что при выборе калибровок приходится постоянно и различным образом менять значения управляющих воздействий. В современных программных МПСУ смена значений основных управлений связана с заменой ПЗУ, причем в новом значении управлений должны быть запрограммированы заранее. При выборе калибровок использовать такую методику затруднительно.

Отладочные комплексы (рис. 10.1) для калибровки МПСУ, как правило, представляют собой одну или две ЭВМ, имеющую развитую оперативную память и прямой доступ через устройство сопряжения в бортовой микроконтроллер двигателя как для обработки поступающей в него информации, так и для управления через этот микроконтроллер работой двигателя.

Кроме информации, поступающей от датчиков МПСУ, для калибровки необходимо использовать дополнительную информацию «A» о работе двигателя и его параметрах. С этой целью используются измерительные приборы стендовой установки и дополнительные датчики, устанавливаемые в двигателе на время калибровки. Дополнительная информация может включать данные о величине крутящего момента, содержании вредных веществ в отработанных газах, составе горючей смеси, поступающей в двигатель, и др.

Для проведения калибровки приходится использовать статические и динамические моторные стены, беговые барабаны, а также специальные испытательные установки, например климатические камеры.

Программное обеспечение отладочного комплекса позволяет выводить текущую информацию в реальных значениях параметров и вводить изменения

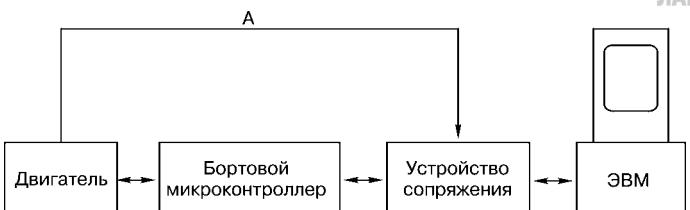


Рис. 10.1
Схема подключения отладочного комплекса для калибровки микроконтроллера:
A — дополнительная информация.

в программы управления в обычных терминах и реальных значениях управляющих воздействий, а бортовой микроконтроллер, воспринимая эту информацию через устройство сопряжения, осуществляет управление изменением электрических сигналов на выходе. Наличие в отладочном комплексе энергонезависимой памяти позволяет, выбрав калибровки на моторном стенде, при необходимости перенести комплекс на автомобиль для проверки результатов в дорожных условиях или на беговых барабанах.

Одним из важнейших вопросов при калибровке является выбор критерия оптимальности, или целевой функции, или конкретно для рассматриваемой процедуры — формулирование оптимизационной задачи калибровки, которая должна быть решена.

Применительно к МПСУ двигателями легковых автомобилей логичной постановкой задачи калибровки, казалось бы, можно считать определение вектора всех управляющих воздействий, обеспечивающего наименьший расход топлива в ездуовом цикле при условии выполнения ряда ограничений. В качестве таких ограничений прежде всего необходимо учесть выполнение требований к уровню вредных выбросов, а также другие ограничения, например достижение необходимой мощности при полном открытии дроссельной заслонки или при полной подаче топлива, устойчивая работа двигателя, отсутствие детонации, сохранение высоких ездовых качеств автомобиля и др. Такая постановка задачи достаточно логична, если учесть, что экономические и экологические показатели легкового автомобиля согласно существующим стандартам оцениваются именно при испытаниях автомобиля по ездуовым циклам. Однако при такой постановке оптимизационной задачи точное решение становится практически невозможным по следующим причинам:

1. Ездуовой цикл представляет собой непрерывный ряд изменяющихся режимов. Если учесть, что как основной параметр оптимизации, так и ограничения по выбросам вредных веществ являются интегральными показателями, а связанное управление нужно определять для каждого режима работы двигателя, приходим к выводу, что при выборе калибровок потребуется решать бесконечномерную задачу непрерывного оптимального управления с интегральными показателями качества управления. Решение таких задач практически нереально.

2. Выходом из данной ситуации, казалось бы, может быть переход от непрерывной задачи к дискретной путем разбиения цикла на отдельные элементарные режимы. В этом случае возникают по крайней мере четыре проблемы:

- в основе ездуового цикла для легковых автомобилей лежит работа двигателя на неустановившихся режимах. Переход от непрерывной задачи к дискретной приведет к решению задачи в квазидинамической постановке, так как на каждом элементарном режиме управление будет рассматриваться как постоянное. Чем больше продолжительность элементарных участков, на которые будет разбит ездуовой цикл, тем больше будут отличаться найденные управлениа от действительно оптимальных;

- ездовой цикл включает не только установившиеся и неустановившиеся нагрузочные режимы работы двигателя, но и такие специфические режимы, как пуск, прогрев двигателя, холостой и принудительный холостой ход, режимы переключения передач. Программное управление, построенное на основе базовых и корректирующих матриц, уже при выборе базовых калибровок требует знания значений ограничений для суммы установившихся режимов работы прогретого двигателя, а точно выделить долю вредных выбросов, допустимую для этих режимов, из общих выбросов за цикл заранее невозможно;
- ездовой цикл включает только часть всех возможных активных режимов работы двигателя в эксплуатации. В случае решения задачи в заданной постановке ограничения на вредные выбросы автоматически будут учитываться на режимах, входящих в ездовой цикл. На других регулировки будут выбраны только с позиций обеспечения максимальной топливной экономичности и/или с учетом других локальных ограничений, которые могут быть заданы для каждого режима. Так как в эксплуатации возможна работа на режимах, и не входящих в ездовой цикл, подобный подход приведет к тому, что реальное снижение вредных выбросов автомобилем в эксплуатации окажется меньше, чем это предусмотрено ужесточением норм при контроле на режимах ездового цикла;
- если снижение вредных выбросов с отработанными газами достигается за счет выбора управлений, отличных от управлений по максимуму топливной экономичности, поверхность управления получится сложной с большими перепадами между соседними режимами работы. Так, например, на режимах, где необходимо снизить выбросы NO_x , угол опережения зажигания будет занижен по сравнению с участком, где регулировки выбирались только с позиций снижения расхода топлива. Такое управление не может быть робастным, т. е. не может обеспечить сохранение оптимального управления при наличии внутренних и внешних возмущений.

Изменение состояния или характеристик двигателя или автомобиля в эксплуатации может приводить к тому, что на режимах, входящих в ездовой цикл, двигатель станет работать на режиме, который ранее не входил в цикл, и наоборот, соответственно будут изменяться выбросы вредных веществ за ездовой цикл. Более того, выбранные таким образом значения управляющих воздействий могут оказаться при массовом производстве непригодными для отдельных автомобилей одной модели из-за различия технических характеристик двигателей и автомобилей в силу наличия технологического разброса в производстве.

Отрицательные последствия учета ограничений вредных выбросов только на режимах ездового цикла уменьшаются по мере усложнения испытательных циклов в результате вовлечения в ездовой цикл все большего числа режимов, а также в том случае, если основное снижение вредных выбросов достигается за счет действия нейтрализатора, а не выбора соответствующих управляющих воздействий. Очевидно, что если нормы на выбросы вредных веществ выполняются полностью за счет работы нейтрализатора, выбор

управляющих воздействий может быть сделан оптимальным с учетом только мощностных или экономических показателей двигателя, а также других ограничений, кроме экологических показателей.

Независимая оптимизация управляющих воздействий при разбиении цикла на отдельные временные интервалы может привести к тому, что для отдельных интервалов с одинаковыми (повторяющимися) режимами работы двигателя будут выбраны разные оптимальные управления. Очевидно, что такое управление не может быть реализовано при существующем способе построения программного управления на основе базовых и корректирующих матриц. Поэтому и выбор управлений должен осуществляться исходя из значений режимов, задаваемых базовой матрицей. В этом случае число задаваемых независимых значений каждого управляющего воздействия не должно быть больше, чем число ячеек в сетке базовой матрицы, так как промежуточные значения управляющих воздействий при осуществлении управления все равно определяются интерполяцией.

Современные системы управления строятся на основе матриц с размерностью 8×8 , 16×16 и 32×32 . Число независимых переменных N при решении оптимизационной задачи для калибровки базовой матрицы в этом случае будет равно произведению числа управляющих воздействий на число ячеек в базовой матрице: $N = kn$, где k — число управляющих воздействий; n — число ячеек в базовой матрице. Соответственно в зависимости от размерности матрицы $n = 64$, 256 или 1024 .

Число связанных управляющих воздействий в современных системах может достигать 5–6 и более, поэтому очевидно, что размерность оптимизационной задачи остается слишком большой. Даже с использованием математических моделей двигателя и современной вычислительной техники решение задачи выбора оптимальных управлений с ограничениями при 100 и более независимых переменных остается сложной проблемой. Она может быть преодолена при использовании специальных приемов. Так, дальнейшее сокращение размерности задачи достижимо, если все множество ячеек матрицы заменить небольшим числом опорных режимов. В указанных точках управления считаются независимыми, а в промежуточных определяются на основании интерполяции. Для этого строится кусочно-плоскостная аппроксимирующая поверхность, основывающаяся на опорных режимах. Чаще всего выбирают поверхность, состоящую из треугольников или четырехугольников с вершинами в опорных точках. Обычно число опорных режимов m составляет 10–15. В этом случае размерность оптимизационной задачи составит $N = km$, т. е. даже при шести управляющих воздействиях число независимых переменных не превысит 90. При наличии математической модели двигателя и с использованием вычислительной техники решение задачи становится реальным.

Использование ограниченного числа опорных режимов позволяет получить лишь приближенное оптимальное решение, однако при этом также сглаживается поверхность управления, что улучшает его робастность. Подобное сглаживание приводит и к тому, что снижение вредных выбросов будет про-

исходить не только на режимах, входящих в ездовой цикл, но и на всех активных режимах работы двигателя.

При решении оптимизационной задачи интегральные показатели за ездовой цикл могут определяться путем суммирования показателей за малые промежутки времени с использованием аппроксимирующей поверхности для вычисления с помощью интерполяции показателей (или управлений) на отдельных квазистатических режимах.

Несколько проще решается задачи калибровки МПСУ двигателей грузовых автомобилей и больших автобусов: по существующим стандартам оцениваются экологические показатели в этом случае ведется на ограниченном числе заданных постоянных нагрузочно-скоростных режимов. При этом для каждого режима заданы определенные коэффициенты, позволяющие получить интегральную оценку нормируемых экономических и экологических показателей автомобиля. Так появляется возможность установить ограничения на вредные выбросы для отдельных режимов, тем самым резко сократив размерность решаемой оптимизационной задачи.

Одним из наиболее сложных и трудоемких этапов при калибровке МПСУ является выбор коррекции управления на динамических режимах. Задача эта может решаться несколькими способами.

Матрицы динамической коррекции управления могут быть построены на основании экспериментального подбора управляющих воздействий, обеспечивающих необходимое качество переходных процессов. При их построении воздействия могут быть определены с использованием аналитических или эмпирических динамических математических моделей объекта управления. Аналитические модели строятся на основе представлений о физических явлениях, определяющих протекание переходного процесса. Как правило, параметры таких моделей должны быть экспериментально уточнены применительно к особенностям конкретного объекта. Эмпирические модели — на основании статистической обработки результатов экспериментов.

Наличие достаточно точных динамических математических моделей позволяет осуществить динамическую коррекцию управления непосредственно по эталонной модели без построения корректирующих матриц. Алгоритм данного управления дает возможность прогнозирования текущего значения управляющего воздействия, которое обеспечивает заданное качество переходного процесса.

Существуют технологии, позволяющие при предварительных экспериментах в условиях моторного стенда или на автомобиле произвести настройку параметров эталонной модели, гарантирующую заданное качество переходных процессов.

Возможна разработка алгоритмов, обеспечивающих модификацию матриц динамической коррекции или параметров эталонных моделей в процессе эксплуатации автомобиля с учетом изменения состояния двигателя и его систем. Другими словами, имеется возможность создания адаптивных обучающихся систем управления. Элементы такого управления используются в современных МПСУ двигателем и активно разрабатываются рядом фирм.

10.2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ

МПСУ радикально повышает качество двигателя, обеспечивая существенное улучшение экономических и экологических характеристик, увеличение мощности и эксплуатационной надежности, а также содействует совершенствованию всего жизненного цикла двигателя от разработки и производства до эксплуатации. Основной эффект, создаваемый МПСУ, — снижение расхода топлива за счет оптимизации рабочего процесса на всех режимах работы двигателя, в том числе и на режимах холостого хода, уменьшения устойчивой частоты вращения, оптимизации переходных процессов по их длительности и расходу топлива.

Применение МПСУ на автомобильных двигателях значительно облегчило выполнение экологических норм 2000–2005 гг.

Электронное управление, обеспечив большую устойчивость переходных процессов в двигателе и меньшую жесткость его рабочего процесса, а следовательно, меньшие шум и вибрацию, ликвидировало преимущества по этим параметрам предкамерных и вихревакамерных дизелей, сохранив и даже несколько увеличив преимущества неразделенных камер сгорания по экономичности.

Появившаяся с МПСУ возможность применения двухфазного впрыскивания топлива позволила практически всем зарубежным фирмам создать автомобильные дизели с непосредственным впрыскиванием, в том числе и для легковых автомобилей.

Потребителям же двигателей МПСУ обеспечила наличие широкого спектра дополнительных возможностей, в частности:

- расширение номенклатуры вариантов двигателей с более узкой специализацией по назначению и условиям применения при отличиях между ними только в программном обеспечении микроконтроллера;
- совершенствование автоматической аварийной защиты и диагностирования двигателя и связанных с ним агрегатов;
- улучшение пусковых и тормозных характеристик.

Наличие МПСУ повысило качество эксплуатации двигателей, создав возможность введения централизованного контроля и управления эксплуатацией при одновременном ее упрощении. Это явилось следствием исключения ручных регулировок и настроек агрегатов двигателя, оперативного контроля и наличия автоматической коррекции настроек, систематического совершенствования алгоритмов управления на основе анализа информации о результатах эксплуатации как конкретного двигателя, так и всех однотипных двигателей.

Кроме того, МПСУ привела к уменьшению затрат на ремонтное обслуживание и его упрощению, например за счет исключения механических и гидромеханических регуляторов частоты вращения, необходимости ручных регулировок топливной аппаратуры на специальных стендах.

10.2.1. ПОВЫШЕНИЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ С МПСУ

МПСУ обеспечивает повышение мощности двигателя без изменения его конструкции, применения новых технологий и материалов.

Максимальная мощность двигателя может быть представлена зависимостью

$$N_{\text{emax}} = N_{\text{et}} - \Delta N_{\text{er}} - \Delta N_{\text{ei}},$$

где N_{et} — теоретически допустимая максимальная мощность двигателя; ΔN_{er} — необходимый запас мощности на неравномерность распределения нагрузки по цилиндрам; ΔN_{ei} — необходимый запас мощности на погрешности управления ограничением подачи топлива.

Теоретически допустимая максимальная мощность с МПСУ может быть увеличена в результате оптимизации параметров рабочего процесса в каждом цилиндре двигателя в условиях перегрузок, исключающей выход любого из них за допустимые пределы.

Уменьшение необходимого запаса максимальной мощности двигателя для исключения недопустимой перегрузки отдельных цилиндров достигается в результате большей идентичности подач топлива в ЭТС, а в особенности — применения адаптивной МПСУ равномерностью распределения нагрузки по цилиндрам.

Допустимая максимальная мощность увеличивается также и при повышении точности ограничения подачи топлива во многих применяемых на двигателе адаптивных системах.

Номинальная мощность двигателя растет пропорционально максимальной. Но дополнительно она может быть повышена за счет улучшенного качества регулирования частоты вращения двигателя в МПСУ.

Номинальная мощность двигателя может быть представлена зависимостью

$$N_{\text{enom}} = N_{\text{emax}} - \Delta N_{\text{ec}},$$

где ΔN_{ec} — необходимый запас мощности на обеспечение заданного качества автоматического регулирования частоты вращения на переходных режимах.

Микроконтроллер позволяет реализовать на двигателе оптимальную по быстродействию и точности систему регулирования частоты вращения на установившихся и переходных режимах работы двигателя. Для этого используется переменная структура регулятора частоты вращения с адаптивно изменяемыми параметрами. При регулировании частоты динамические параметры двигателя, необходимые для обеспечения максимально допустимого относительного отклонения частоты вращения $\varphi_{\text{доп}}$ при скачкообразном повышении нагрузки, определяются следующей зависимостью:

$$((T + \tau)/T_a)_{\text{необх}} < \varphi_{\text{доп}},$$

где T_a — постоянная времени механического звена двигателя (преобразователя разности моментов на валу в частоту вращения) и нагрузки; T — эквивалентная постоянная времени канала управления двигателя; τ — эквивалентное запаздывание канала управления двигателя.

Т и τ при импульсном электронном управлении подачей топлива соответственно определяются инерцией и запаздыванием практически только теплового звена двигателя (преобразователя энергии впрыснутого топлива в крутящий момент).

Управляющее воздействие микроконтроллера реализуется электронной топливной системой и в тепловом звене преобразуется в приблизительно пропорциональный крутящий момент.

При выполнении указанного условия по параметрам двигателя управляющее воздействие u_k , необходимое для обеспечения максимально допустимой длительности переходного процесса $\tau_{\text{п доп}}$ при скачкообразном повышении нагрузки в относительных величинах, определяется следующей зависимостью:

$$u_k > (T + \tau) / \tau_{\text{п доп}}.$$

В традиционных системах достижение оптимальности регулирования частоты вращения двигателя практически исключено. Поэтому в МПСУ запас мощности для достижения заданного качества регулирования частоты вращения требуется существенно меньший, что и позволяет увеличить номинальную мощность.

Анализ экспериментальных исследований двигателей с МПСУ показал, что увеличение максимальной мощности при оптимизации управления только за счет снижения запасов на неравномерность нагрузки цилиндров и для обеспечения заданного качества регулирования частоты вращения составляет не менее 10%.

10.2.2. УЛУЧШЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЯ С МПСУ

Улучшение схемы и конструкции двигателя при наличии МПСУ и, в особенности, исключение некоторых его узлов и агрегатов значительно расширяют возможности свободного размещения остальных агрегатов на двигателе, тем самым упрощая проектирование и изготовление новых двигателей с МПСУ.

Информационные связи, реализуемые микроконтроллером, позволяют упростить конструкцию двигателя, отказавшись от некоторых механических связей прежде всего в топливной системе. В большинстве бензиновых двигателей с применением МПСУ единственный сколько-нибудь энергоемкий агрегат топливной системы — насос — переводится на привод электродвигателем, устанавливается непосредственно в топливном баке и достаточно просто управляется. Определение величины подачи топлива и выбор необходимых фаз осуществляются электромеханическими форсунками по информации микроконтроллера.

В дизелях топливные системы значительно сложнее как по конструкции, так и по управлению. В частности, обычный ТНВД с механическим приводом представляет собой один из самых напряженных, сложных и дорогих агрегатов двигателя. При применении МПСУ топливная система в этом случае также значительно упрощается.

Но особенно существенно упрощается конструкция дизеля при применении аккумуляторной топливной системы. Все функции управления подачей топлива в такой системе реализуются микроконтроллером большей частью через электрогидравлические форсунки. Топливный насос высокого давления используется только для создания заданного оптимального давления топлива в аккумуляторе, поэтому его конструкция существенно упрощается, так же как его привод и исполнительные механизмы системы управления.

Одновременно исключаются механический (гидромеханический) регулятор частоты вращения, его привод, регулировочные элементы механических форсунок, упрощаются и требования к размещению на двигателе всех агрегатов системы топливоподачи.

В аккумуляторных топливных системах вообще можно отказаться от механического привода топливного насоса высокого давления. Для нагнетательных плунжеров топливных насосов возможен пневматический привод — непосредственно от газов, находящихся под давлением в цилиндрах. Принципиально в аккумуляторных топливных системах возможно применение насосов высокого давления, не содержащих прецизионных пар, например без нагнетательных плунжеров.

При наличии электропневматических насосов-форсунок полностью исключаются механический привод топливного насоса, кулачковый вал и трубопроводы высокого давления.

Замена механических приводов и устройств управления клапанов газораспределения при микропроцессорном управлении клапанами с электромагнитными приводами радикально упрощает двигатель. Электромагнитный привод клапанов исключает систему дросселирования, распределительный вал с приводом к нему, упрощает конструкцию головки цилиндров и впускного коллектора. Сокращаются габариты и масса двигателя, улучшается его компоновка, снижаются потери на трение и расход масла.

В газовых двигателях также упрощаются функции и устройства связей в их топливных системах при наличии МПСУ.

Характерно также сокращение сроков и улучшение качества изготовления двигателей с МПСУ в результате упрощения конструкции двигателя и повышения степени автоматизации процессов отладки и сдачи двигателей после изготовления. Снижается стоимость двигателя и существенно уменьшаются сроки его создания.

10.2.3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ С МПСУ

Введение МПСУ позволило сохранить заданный уровень технических параметров автомобиля сначала на протяжении 80 тыс. км пробега, а с 1996 г. увеличить эту цифру до 160 тыс. км. Такое повышение надежности двигателя обеспечивается следующими возможностями МПСУ:

- совершенствованием конструкции;
- управлением ограничениями подачи топлива;
- заменой механических связей информационными;

- снижением минимальной частоты вращения двигателя на холостом ходу;
- исключением необходимости длительной работы на холостом ходу;
- непрерывным диагностированием двигателя и микроконтроллера;
- совершенствованием аварийных защит;
- минимизацией номенклатуры и количества функционально необходимых элементов МПСУ;
- стратегией надежности, реализуемой алгоритмически в микроконтроллере;
- совершенствованием эксплуатации.

Совершенствование конструкции двигателя. Исключение или упрощение конструкции перечисленных выше деталей и узлов, двигателя и облегчение условий работы многих других обеспечивают уменьшение вероятности отказов важнейших элементов его систем.

Управление ограничениями подачи топлива. В МПСУ ограничение подачи топлива выполняется преимущественно программно в микроконтроллере в функции любых контролируемых параметров. Высокая точность управления ограничениями подачи топлива в процессах разгона и повышения нагрузки на двигатель исключает выход крутящего момента и других управляемых параметров двигателя за допустимые значения, что снижает вероятность аварий и повышает надежность двигателя.

Замена механических связей информационными. Наиболее заметен эффект от замены механических (и гидравлических) передач в системе управления электрическими при использовании электрических исполнительных механизмов. Основная часть необходимой им энергии имеется непосредственно в управляемых системах двигателя, а по электрическим каналам передается практически только командная информация о необходимых воздействиях на двигатель, представляемая, как правило, сравнительно маломощными сигналами. Этим исключается износ передач. Очевидно, что такая замена при использовании МПСУ сопровождается повышением надежности двигателя.

Уменьшение износов на холостом ходу. Повышение надежности двигателя определяется уменьшением износов при снижении минимальной частоты вращения двигателя на холостом ходу и исключением необходимости длительной работы двигателя на этом режиме. Последнее объясняется быстротой и надежностью пуска двигателя, оснащенного МПСУ.

10.2.4. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МПСУ

Повышению надежности МПСУ способствует применение постоянно действующей встроенной системы диагностирования. Данная система включает пассивное и активное диагностирование. Пассивное — сбор информации о состоянии двигателя и микроконтроллера, активное — проведение различных тестовых операций. По результатам диагностирования осуществляются предупредительная сигнализация и мероприятия по сохранению работоспособности МПСУ.

Диагностирование может проводиться как при неработающем двигателе, так и при нормальном его функционировании. Его методы основаны на

проверке правильности работы цепей, измерении характеристик сигналов в определенных точках схемы при заданных режимах работы и сравнении этих характеристик с установленными нормальными значениями, а также анализе откликов при подаче тестирующих сигналов. Возможным дефектам присвоены определенные коды, которые при диагностировании и наличии данного дефекта заносятся в память МПСУ и выносятся на индикаторы панели приборов автомобиля. В ряде систем определить код дефекта можно по чередованию вспышек сигнальной лампы. В более совершенных системах цифровой код может быть выведен на жидкокристаллический экран. Наконец, в наиболее сложных системах на экран может быть выведена не только информация о дефекте, но и перечень необходимых мер, которые должен предпринять водитель.

Информация о дефекте может быть выведена на дисплей специального тестера при техническом обслуживании автомобиля. Для внешнего диагностирования используется широкая гамма тестеров; простейшие позволяют вывести из памяти бортового микроконтроллера информацию в виде кода дефекта либо более подробные сведения, которые можно сопоставить с соответствующими техническими инструкциями. После устранения дефекта можно стереть в памяти блока информацию о нем.

Существуют более универсальные тестеры, позволяющие не только выполнить указанные выше операции, но и определить параметры электрических сигналов в различных точках системы и на основе анализа их изменения провести диагностирование.

Наиболее совершенные и сложные тестеры с компьютерным управлением могут вести диагностирование в автоматизированном режиме. Информация об особенностях конкретной диагностируемой системы, кодах дефектов, методике диагностирования и способах устранения дефектов применительно к различным моделям автомобилей хранится на картриджах-дискетах. Комплекты дискет постоянно обновляются в связи с появлением новых двигателей и систем управления.

Высокая надежность работы МПСУ обеспечивается также рядом следующих дополнительных мероприятий:

- высокими требованиями, предъявляемыми к элементной базе МПСУ. Так, элементы системы должны работать в диапазоне температур от -40 до $+125^{\circ}\text{C}$ и более и выдерживать ударные нагрузки при ускорении свыше 50 g . Специальные меры приняты для защиты системы от агрессивных веществ, содержащихся в продуктах горения и окружающей среды;
- использованием микросхем с очень большой степенью интеграции, что сокращает число необходимых разъемов и уменьшает длину коммуникаций;
- наличием 100% -ного входного контроля элементов системы и контроля на выходе, периодического контроля систем в ходе производства и при необходимости их отладкой;
- возможностью использования элементов автоматической подстройки системы в эксплуатации и внесения исправлений в характеристики датчиков по мере их изменения в процессе эксплуатации.



Развитие диагностирования МПСУ идет по трем основным направлениям:

1. Совершенствование алгоритмов диагностирования, что позволяет не только установить факт неисправности, но и прогнозировать отказы или вводить коррекцию в случае изменения характеристик.
2. Увеличение числа диагностируемых параметров и глубины диагностирования.
3. Расширение возможностей внешнего диагностирования, в том числе полноты выводимой информации о дефектах и мерах для их устранения.

10.2.5. САМОКОРРЕКЦИЯ МПСУ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В процессе эксплуатации состояние двигателя, датчиков и исполнительных устройств не остается неизменным; соответственно первоначально выбранные оптимальные значения управляющих воздействий не остаются таковыми или просто не воспроизводятся. В разомкнутых программных системах управления нет возможности точно отслеживать эти изменения. Напротив, при наличии обратных связей, даже локальных, можно строить системы управления с самокоррекцией, учитывающие изменения состояния двигателя и его систем в процессе работы, что позволяет сохранить высокое качество управления в процессе эксплуатации автомобиля. Трудность создания самонастраивающихся систем прежде всего связана со сложностью получения необходимой информации на борту автомобиля. Тем не менее элементы самокоррекции все чаще используются в современных МПСУ, в значительной мере способствуя поддержанию их оптимальной работы.

Известно, например, что характеристики датчиков массового расхода воздуха, поступающего в двигатель, существенно меняются со временем. Для термоанемометрических расходомеров это прежде всего связано с загрязнением чувствительного элемента термоанемометра. С целью устраниć указанные изменения предусматривается периодическое выжигание отложений на датчике путем временного повышения его температуры. Однако и в этом случае не удается сохранить характеристики датчика полностью неизменными. Если в МПСУ используются А-зонды, есть возможность введения периодической автоматической коррекции характеристик датчика. Достаточно в момент срабатывания датчика содержания кислорода в отработанных газах, которое происходит при составе смеси, очень близком к стехиометрическому, рассчитать состав смеси исходя из характеристик форсунок, длительности импульса открытия форсунки и данных об измеренном расходе воздуха. Отличие этого состава от стехиометрического может быть вызвано ошибкой в измерении расхода воздуха или изменениями характеристик форсунок. В любом случае несоответствие может быть компенсировано внесением поправок в характеристику расходомера поступающего воздуха. Если провести такую проверку на нескольких режимах, можно построить таблицу корректирования характеристик датчика или выбрать поправочный коэффициент.

10.2.6. СТРАТЕГИЯ НАДЕЖНОСТИ МПСУ

Стратегия надежности МПСУ — это методы автоматического обеспечения работоспособности МПСУ алгоритмическими средствами при отказе отдельных ее элементов без остановки двигателя. Для обеспечения работы МПСУ при отказах отдельных ее элементов, выявленных, в частности, диагностированием, применимы два вида стратегии надежности: дублирование и резервирование элементов, блоков или даже отдельных систем и использование дублирующих (обходных) алгоритмов, обеспечивающих сохранение работоспособности МПСУ.

Эффективность стратегии надежности непосредственно связана с общим числом входящих в МПСУ элементов, влияние отказов которых должно быть устранено. Поэтому важнейшим условием повышения надежности МПСУ, как, впрочем, и снижения ее стоимости, является минимизация номенклатуры и количества функционально необходимых элементов — прежде всего датчиков, устанавливаемых непосредственно на двигателе в наиболее неблагоприятных условиях. Минимизация числа датчиков возможна главным образом за счет рационального использования рабочей информации поисковых адаптивных структур.

Минимизация общего числа функционально необходимых элементов позволяет без чрезмерных усложнений системы управления ввести дублирование и резервирование наиболее подверженных внешним воздействиям элементов, образующих главные локальные системы управления. Пример дублирования — установка двух совместно работающих датчиков положения коленчатого вала. При выходе из строя одного из них работоспособность системы сохраняется, а водителю и в запоминающее устройство поступает информация об отказе для проведения замены при первой же возможности.

Резервирование — например, на двигатель ставятся два электронных блока управления. Один работает, а другой поддерживается в состоянии готовности, в частности в прогретом состоянии при непрерывном или регулярном тестировании. Он включается в работу только при отказе первого, также с выдачей информации водителю и в память.

Возможны и другие варианты, так, например, на двигателях фирмы Detroit Diesel используются два электронных блока, выполняющих разные функции. При отказе одного из них другой берет на себя и все функции отказавшего. В таком виде может теряться быстродействие системы управления, но обычно в электронных блоках есть аппаратный и программный запасы, поэтому водитель может и не почувствовать изменений в качестве управления.

В МПСУ автомобильных двигателей часто используется и второй вариант стратегии надежности — использование дублирующих (обходных) алгоритмов. Этому способствуют определенная избыточность имеющейся в системе информации и большие возможности МПСУ. В случае отказа отдельных элементов, например некоторых датчиков, имеется возможность сохранить работоспособность двигателя, построив управление с использованием информации от других датчиков, как правило, при определенном снижении

качества управления. Так, при выходе из строя измерителя массового расхода воздуха можно управлять подачей топлива по сигналам датчика давления во впускном трубопроводе, по сигналам лямбда-зонда или по сигналам датчика открытия дроссельной заслонки. Аналогично можно построить обходные алгоритмы управления углом опережения зажигания и рециркуляцией отработанных газов. При отказе датчика детонации или лямбда-зонда можно перейти на программное управление соответственно опережением зажигания или подачей топлива; в крайнем случае ввести упрощенное управление, позволяющее водителю доехать до станции технического обслуживания. Соответствующие алгоритмы предусматриваются в каждой МПСУ.

Стратегия надежности наиболее полно выражается в наличии альтернативных структур МПСУ, организуемых при отказах отдельных ее элементов. В частности, это переход на упрощенные, менее точные алгоритмы управления. Такой метод отказа от выполнения более сложных функций иногда называют «дебилизацией» управления.

Упрощение управления может начаться с отказа от поисковой адаптации и перехода на программную. Затем, если этого окажется недостаточным, осуществляется переход на упрощенные, менее точные программы управления, действующие без учета некоторой второстепенной информации. Следующий шаг — отказ от согласованного комплексного программного управления и переход на раздельное управление локальными МПСУ. При этом задания регуляторам второстепенных параметров двигателя остаются неизменными, а по главным параметрам — частоте вращения и мощности — обеспечивается возможность ручного, точнее непосредственно от педали водителя, ввода заданий.

Наиболее сложен переход на программы, использующие косвенные источники информации в локальных МПСУ. Например, в таких алгоритмах управления дизелем выходной сигнал регулятора частоты может использоваться, кроме формирования основного и дополнительных управляющих воздействий, в качестве критерия оптимальности при поисковой адаптации или как вспомогательный (аварийный) при регулировании того или иного параметра в аварийных ситуациях. Одна из возможных схем такой системы регулирования представлена на рис. 10.2.

Задатчик по текущим значениям частоты вращения и нагрузки или другого эквивалентного ей параметра формирует путем программной адаптации p_{az} , которое соответствует давлению в аккумуляторе, оптимальному по расходу топлива двигателем для данного режима работы.

В САРДТ не указана адаптивная поисковая система выбора оптимального давления топлива в аккумуляторе, она аналогична поисковой системе автоматического регулирования опережения. Разница заключается только в том, что для выбора оптимального давления нужно использовать информацию о действительном расходе топлива двигателем и нельзя использовать выходной сигнал регулятора частоты вращения, как при поиске оптимального опережения. С изменением давления изменяется величина подачи топлива при той же длительности впрыскивания, т. е. в этом случае выходной сигнал регулятора частоты вращения не эквивалентен расходу топлива.

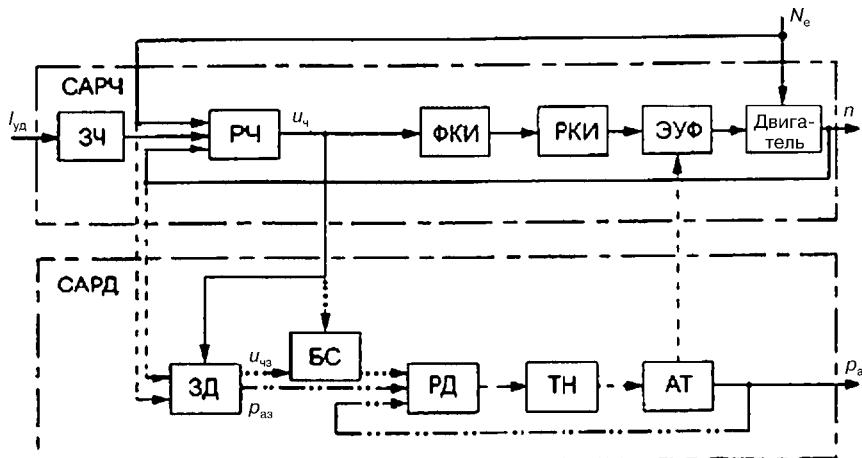


Рис. 10.2
Схема МПСУ давлением топлива в аккумуляторе:

Системы автоматического регулирования: САРЧ — частоты вращения; САРД — давления. Элементы САРЧ: ЗЧ — задатчик частоты; РЧ — регулятор частоты; ФКИ — формирователь командных импульсов; РКИ — распределитель командных импульсов; ЭУФ — электроуправляемые форсунки. Элементы САРД: ЗД — задатчик давления; БС — блок сравнения; РД — регулятор давления; ТН — топливный насос; АТ — аккумулятор топлива; $I_{уд}$ — положение педали управления; N_e — мощность двигателя; p_a — давление в аккумуляторе; p_{aa} — заданное давление в аккумуляторе; n — частота вращения; u_q — выходной сигнал регулятора частоты; u_{qz} — заданное значение выходного сигнала регулятора частоты.

Регулятор давления через входящий в его состав датчик давления получает информацию о действительном давлении в аккумуляторе. По отклонению этого давления от p_{aa} регулятор изменяет производительность топливного насоса для уменьшения отклонения до допустимой величины.

По окончании процесса регулирования ЗЧ запоминает установленвшееся значение выходного сигнала регулятора частоты, соответствующее продолжительности впрыскивания, оптимальной по расходу топлива для данного режима работы двигателя, определяемого частотой вращения и нагрузкой.

В случае аварийного отказа измерителя нагрузки САРД может перейти на грубую оценку нагрузки по температуре воды или масла в системах охлаждения и смазки, т. е. продолжать управлять так же, но менее точно.

В аварийной ситуации, созданной отказом наиболее уязвимого элемента системы — датчика давления, обратная связь в регуляторе отключается. Регулятор может вызвать чрезмерное повышение давления в аккумуляторе и, следовательно, полный отказ МПСУ, в конечном счете и двигателя. Для предотвращения этого при отказе датчика включается альтернативная резервная структура с дополнительными каналами. Из задатчика в блок сравнения поступает информация, накопленная при нормальном функционировании системы, — о том, каковы были значения выходных сигналов регулятора частоты вращения, определяющие текущие значения продолжительности впрыскивания на конкретных скоростных и нагрузочных режимах при оптимальном давлении в аккумуляторе. Эти зафиксированные в памяти значения



используются в альтернативной структуре в качестве заданных. Если окажется, что на данном режиме работы двигателя (известны частота вращения и нагрузка) выходной сигнал регулятора частоты не равен тому, который должен быть при оптимальном давлении топлива в аккумуляторе, то блок сравнения будет воздействовать на регулятор давления до тех пор, пока в результате изменения производительности топливного насоса, создающего давление топлива в аккумуляторе, и восстановления эффективности сгорания топлива величина u_q не станет равной u_{q_0} . Это будет свидетельствовать о том, что давление топлива в аккумуляторе как раз такое, при котором длительность впрыскивания топлива, устанавливаемая по u_q , соответствует оптимальному по расходу топлива рабочему процессу для данного режима работы двигателя. Таким образом, даже в аварийных ситуациях САРД обеспечивает достаточно близкий к оптимальному рабочий процесс. Точность адаптивной оптимизации давления впрыскивания снижается, но работоспособность двигателя сохраняется.

10.2.7. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ СРЕДСТВАМИ МПСУ

С 1996 г. согласно нормативным требованиям OBD II (второй уровень бортового диагностирования) МПСУ должна осуществлять не только диагностирование системы управления, но и работу ряда систем двигателя. Дополнительно к функциям, выполняемым согласно требованиям OBD I, предусматривается:

- контроль работы системы топливоподачи;
- диагностирование пропусков сгорания в цилиндрах;
- контроль работы системы рециркуляции отработанных газов;
- проверка эффективности работы нейтрализатора;
- контроль системы улавливания паров топлива;
- проверка системы подачи вторичного воздуха в выпускную систему.

При выполнении этих требований обеспечивается сохранение заданного уровня экономических и экологических показателей автомобиля при пробеге в 160 тыс. км. Очевидно, что в перспективе функции диагностирования будут распространяться и на другие узлы и системы двигателя.

Одной из особенностей бортового диагностирования двигателя является стремление в максимальной степени использовать для этих целей информацию, получаемую от датчиков системы управления, а в случае необходимости новых датчиков выбирают такие, информация от которых может быть использована для совершенствования управления двигателем или диагностирования нескольких дефектов. Это заставляет постоянно искать новые методы диагностирования дефектов в работе двигателя, устанавливать новые диагностические признаки и развивать алгоритмы диагностирования.

Важнейшие дополнительные функции диагностирования, предусмотренные второй ступенью диагностирования OBD II, показаны в табл. 10.1.

Большое число применяемых способов диагностирования свидетельствует о том, что методы диагностирования еще не полностью отработаны и будут совершенствоваться.

Важнейшие дополнительные функции диагностирования OBD II

Диагстируемый процесс	Некоторые применяемые и возможные способы диагностирования
Работа системы топливоподачи во всех цилиндрах	Измерение содержания O_2 в отработанных газах. Измерение давления в цилиндре. Измерение неравномерности крутящего момента, создаваемого тепловым звеном двигателя
Пропуски сгорания	Измерение неравномерности вращения коленчатого вала. Измерение ионного тока на свече зажигания. Измерение давления в цилиндре. Измерение давления в выпускной системе. Контрольный разряд на свече зажигания
Эффективность работы нейтрализатора	По изменению содержания кислорода до и после нейтрализатора. По изменению температуры нейтрализатора. Измерение концентраций CO , CH и NO_x после нейтрализатора
Правильность работы системы рециркуляции ОГ	По перепаду давления в магистрали. По изменению температуры в магистрали. По сигналу X-зонда
Правильность работы системы улавливания паров топлива	По перепаду давления в магистрали
Работа системы подачи вторичного воздуха (если она используется)	По перепаду давления в магистралях



Эффективность диагностирования двигателя существенно повышает использование для нее информации, получаемой при выполнении поисковой адаптации. С другой стороны, результаты диагностирования двигателя используются для адаптивного управления и, так же как и результаты диагностирования МПСУ, сообщаются водителю и подразделениям электронного управляющего комплекса (рис. 8.1). Для водителя может быть выведена не только информация о выявленных дефектах, но и рекомендации о необходимых действиях.

При наличии катастрофических дефектов включается аварийная защита двигателя.

10.3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МПСУ В ДВИГАТЕЛЯХ НЕТРАДИЦИОННЫХ СХЕМ

Заметный эффект от применения МПСУ наблюдается в двигателях нетрадиционных схем. Реализация новых схем двигателей осложнена трудностями, а во многих случаях и невозможностью использования в них систем и узлов, отработанных для обычных двигателей. Главным образом это относится к системе топливоподачи и действующей через нее управляющей системе двигателя.

Для нетрадиционных схем двигателей наиболее перспективны электронные системы топливоподачи и газообмена, не нуждающиеся в механических передачах от поршней двигателя к выходному валу.

Предельное упрощение двигателей достигается полным исключением всех валов и всех механических приводов и передач реализаций свободно-

поршневых двигателей. Обычно применяют свободнопоршневые безバルванные двигатели, например линейные двигатель-генераторы в одномодульном исполнении. Главная причина их ограниченного использования — трудности создания многоцилиндровых безバルванных двигателей с жестким согласованием циклов цилиндров без сложных механических связей.

МПСУ на основе информации о положении поршней в отдельных модулях позволяет решить задачу создания многомодульных безバルванных двигателей с только информационными межмодульными связями.

Кроме того, отключение отдельных автономных модулей в безバルванных двигателях более эффективно, чем отключение цилиндров в обычных двигателях, где это дает только частичное снижение расхода топлива, так как поршню отключенного цилиндра все равно приходится совершать движение в неоптимальных условиях: из-за нарушения температурного режима работы всех деталей цилиндропоршневой группы ухудшаются условия смазки и т. д. В безバルванных же двигатель-генераторах отключенные модули находятся в состоянии покоя.



11

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ



11.1.

ЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЕМ

11.1.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Для определения требований к системе автоматического управления сцеплением рассмотрим, какие действия совершает водитель, управляя неавтоматически действующим сцеплением. Перед началом движения автомобиля водитель должен включить ту или иную передачу в коробке передач. Для этого при работающем двигателе необходимо предварительно полностью выключить сцепление. Далее, для трогания автомобиля с места водитель одновременно нажимает на педаль подачи топлива и постепенно отпускает педаль управления сцеплением. При правильно согласованном воздействии на эти педали будет одновременно возрастать как частота вращения коленвала n_k коленчатого вала, так и момент M_c , передаваемый сцеплением. После того как M_c превысит момент M_s сопротивления движению (приведенный к коленчатому валу двигателя), автомобиль тронется с места. По мере увеличения M_c будет возрастать частота вращения n_c ведомого элемента сцепления и соответственно увеличиваться скорость движения автомобиля.

Когда в процессе разгона автомобиля водитель полностью отпускает педаль управления сцеплением, M_c увеличивается до максимального $M_{c\max}$, который превышает максимальный крутящий момент M_{\max} двигателя. В результате сцепление блокируется, т. е. n_c и n_k становятся одинаковыми. Таким образом, в процессе трогания автомобиля с места и последующего его разгона по мере увеличения $n_k M_c$, передаваемый сцеплением, постепенно возрастает от нуля до максимального значения.

Характер зависимости $M_c = f(n_k)$ при неавтоматическом управлении сцеплением определяется темпом нажатия водителем на педаль управления сцеплением. Если водитель быстро нажимает на педаль подачи топлива и медленно

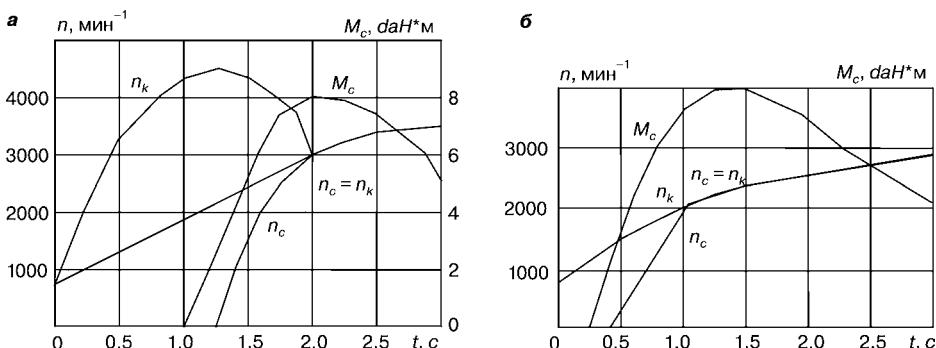


Рис. 11.1

Изменение M_c , n_k и n_c при разгоне автомобиля с неавтоматически управляемым сцеплением:
a, *b* — отпускание педали управления сцеплением соответственно медленное и быстрое.



отпускает педаль управления сцеплением, то это обуславливает интенсивное возрастание n_k при незначительном увеличении n_c (рис. 11.1*a*).

Последующее отпускание педали управления сцеплением вызывает соответствующее повышение M_c , что приводит к возрастанию нагрузки двигателя. В результате интенсивность увеличения частоты вращения коленчатого вала снижается и даже возможно замедление, если при неравенстве n_c и n_k M_c становится больше момента двигателя M .

С увеличением M_c возрастает частота вращения ведомого элемента сцепления и, следовательно, уменьшается $n_k - n_c$. Начальная стадия разгона автомобиля заканчивается, когда эта разность становится равной нулю, т. е. сцепление блокируется и прекращается его пробуксовывание.

По-иному протекает процесс разгона автомобиля при быстром отпусканье водителем педали управления сцеплением (рис. 11.1*b*). Вследствие быстрого возрастания момента M_c , создающего значительную нагрузку двигателю, частота вращения коленчатого вала будет увеличиваться менее интенсивно, а увеличение частоты вращения ведомого элемента сцепления начнется почти сразу же после начала отпускания водителем педали управления сцеплением. В результате существенно уменьшится продолжительность пробуксовывания сцепления.

На основании анализа зависимостей, приведенных на рис. 11.1, можно сделать следующие выводы. При медленном отпускании водителем педали управления сцеплением вследствие быстрого повышения частоты вращения коленчатого вала еще в начальной стадии процесса (т. е. при неравенстве величин n_c и n_k) двигатель работает в зоне высоких частот вращения, чему соответствует высокий крутящий момент. Так обеспечиваются высокие динамические качества автомобиля, но наряду с этим увеличивается работа буксования сцепления, что отрицательно сказывается на его долговечности.

При быстром отпускании водителем педали управления сцеплением и вследствие медленного увеличения частоты вращения коленчатого вала двигатель в начальной стадии процесса развивает относительно небольшой крутящий момент, что отрицательно сказывается на динамических качествах



автомобиля. Для данного режима характерна также небольшая работа буксования сцепления, что обеспечивает его благоприятный температурный режим и минимальное изнашивание фрикционных элементов.

Известно большое число различных систем автоматического регулирования момента, передаваемого сцеплением. Однако в настоящее время преимущественно применяются системы, обеспечивающие увеличение M_c с повышением n_k . Именно по такой закономерности изменяется момент M_c при неавтоматическом управлении сцеплением.

Если в автомобиле используется неавтоматическое сцепление, то водитель по своему усмотрению в зависимости от условий эксплуатации может выбирать такой темп его включения, при котором обеспечиваются оптимальные условия работы сцепления и движения автомобиля.

В случае автоматически действующего сцепления практически невозможно для всех условий эксплуатации автомобиля обеспечить оптимальный режим работы сцепления. Поэтому при создании системы автоматического управления сцеплением зависимость $M_c = f(n_k)$ приходится выбирать исходя из компромиссных требований высоких динамических показателей автомобиля и минимальной работы буксования сцепления.

Рассмотрим влияние характера зависимости $M_c = f(n_k)$ на режимы совместной работы двигателя и сцепления. На рис. 11.2 приведены три такие зависимости (кривые 1–3), имеющие различный наклон, и внешняя характеристика двигателя $M = f(n_k)$ (кривая 4).

Зависимость $M_c = f(n_k)$ (кривая 1) пересекает характеристику $M = f(n_k)$ в точке с координатами $n_k = -n_{m\ max}$ и $M = M_{max}$. Это означает, что в начальный период разгона, когда сцепление еще пробуксовывает, частота вращения коленчатого вала может увеличиваться до частоты вращения, когда двигатель развивает максимальный момент. Выше уже отмечалось, что при этом обеспечиваются наилучшие динамические показатели автомобиля, но повышается работа буксования сцепления.

Пересечение кривой 3 зависимостью $M = f(n_k)$ характеризуется значением $n_k = n_y$ (где n_y — минимальная устойчивая частота вращения коленчатого вала при работе двигателя на внешней характеристике, т. е. с полной подачей топлива). Здесь сцепление пробуксовывает только при $n_k < n_y$, в результате значительно уменьшается работа буксования сцепления. Но одновременно заметно ухудшаются динамические показатели автомобиля, поскольку крутящий момент двигателя с n_y M_y существенно меньше M_{max} . Поэтому системы автоматического управления обычно проектируют таким образом, чтобы в точке пересечения зависимостей $M_c = f(n_k)$ и $M = f(n_k)$ (при $n_k = n_p$) крутящий момент двигателя составлял $(0,85\text{--}0,9) M_{max}$ (кривая 2). Тогда обеспечивается получение приемлемых динамических показателей как автомобиля, так и относительно небольшой работы буксования сцепления. Следует иметь в виду, что в некоторых случаях можно получить не одну, а несколько различных зависимостей $M_c = f(n_k)$. Тем самым значительно улучшаются показатели автомобиля, оборудованного автоматически действующим сцеплением. Так, например, если при включении в коробке передач низшей передачи система управления позволяет получить зависимость $M_c = f(n_k)$,

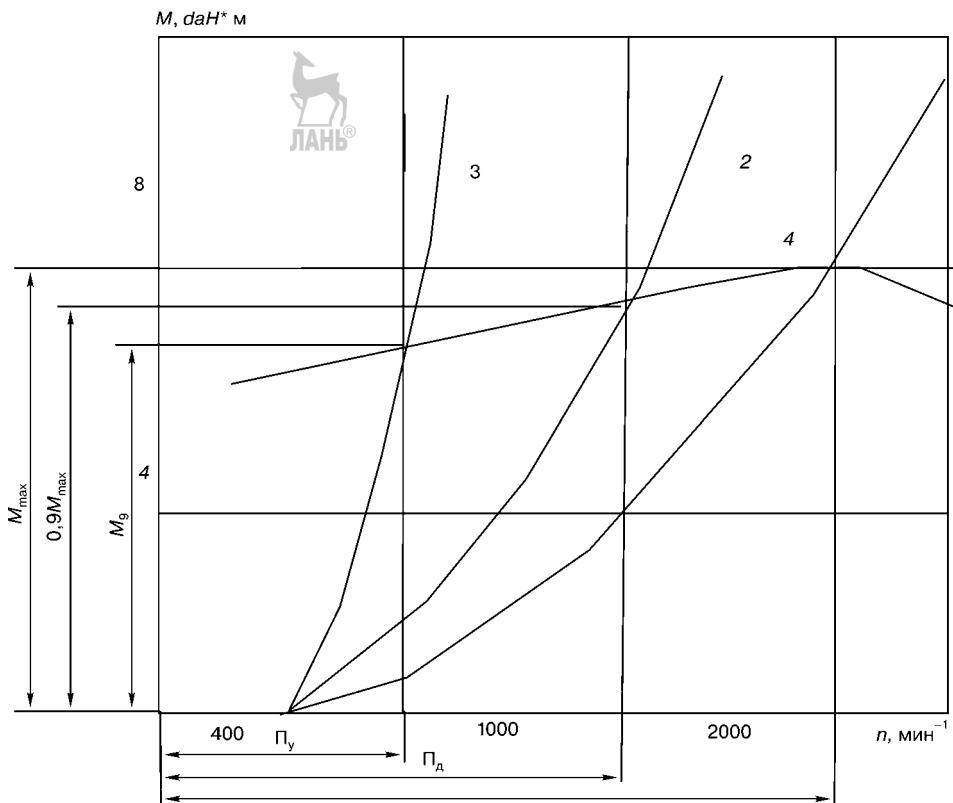


Рис. 11.2

Влияние зависимости $M_c = f(n_k)$ на режимы совместной работы двигателя и сцепления

соответствующую кривой 1 или 2, а при включении высших передач — кривой 3, то в процессе разгона автомобиля на низшей передаче достигаются заданные высокие динамические показатели автомобиля, а после перехода на высшие передачи — сокращается до минимума работа буксования сцепления.

В условиях эксплуатации автомобиля, характеризующихся многократно повторяющимися увеличениями и уменьшениями n_k , значительное снижение продолжительности работы сцепления с пробуксовыванием может быть достигнуто при зависимости $M_c = f(n_k)$, изображенной на рис. 11.3 сплошными линиями.

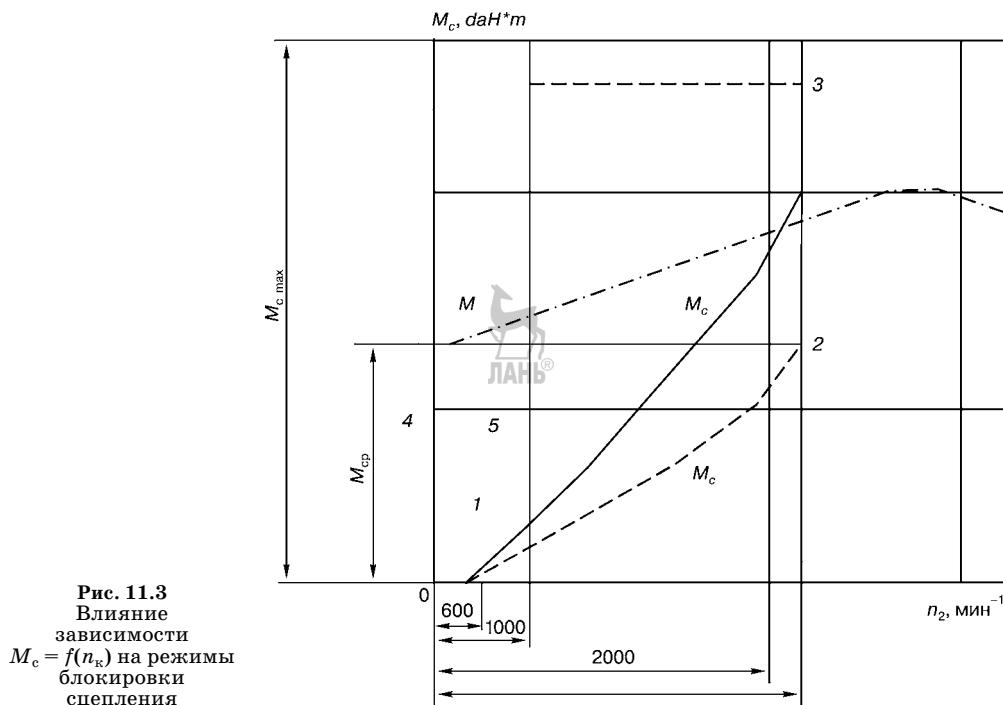
При повышении n_k от значения n_{xx} , соответствующего режиму холостого хода двигателя, до $n_k < n_6$ (где n_6 — частота вращения, соответствующая блокировке сцепления) изменение M_c соответствует участку 1–2 характеристики $M_c = f(n_k)$. После того как n_k увеличится до значения n_6 , M_c скачкообразно возрастает до значения $M_{c\max}$ (участок 2–3) и останется неизменным до тех пор, пока n_k не уменьшится до n_y , при которой еще возможна устойчивая работа двигателя на его внешней характеристике (участок 3–4 характеристики $M_c = f(n_k)$). Очевидно, что в диапазоне частот вращения $n_y - n_6$ будет

исключена работа сцепления с пробуксовыванием, поскольку на участке 3—4 $M_c = M_{c \max} > M$. Лишь после уменьшения n_k до значения n_y произойдет скачкообразное уменьшение момента M_c (участок 4—5) с установлением его значения в соответствии с участком 1—2 характеристики $M_c = f(n_k)$ при $n_k = n_y$.

Таким образом, если в процессе разгона автомобиля хотя бы на одной из передач n_k достигла значения n_b , то сцепление будет работать без пробуксовывания во всем рабочем диапазоне частот вращения коленчатого вала.

Из рис. 11.3 следует, что при изменении M_c в соответствии с участком 1—2 характеристики $M_c = f(n_k)$ после повышения частоты вращения коленчатого вала до частоты вращения $n_k = n_p$, при которой $M_c = M$, должно прекращаться пробуксовывание сцепления. В связи с этим характер зависимости $M_c = f(n_k)$ при $n_k > n_p$ не влияет на нагружочный режим как самого сцепления, так и других узлов трансмиссии, а также на динамические показатели автомобиля. Следовательно, целесообразно сразу же после повышения частоты вращения коленчатого вала до $n_k = n_p$ обеспечивать увеличение момента сцепления до значения $M_{c \max}$ и тем самым уменьшать продолжительность работы элементов привода сцепления (например, его выжимного подшипника) под нагрузкой. Такой характер изменения M_c наблюдается на участке 2—3 характеристики $M_c = f(n_k)$ при значении n_b , близком к n_p .

Следует иметь в виду, что в условиях массового производства невозможно получить точное совпадение характеристик $M_c = f(n_k)$ и $M = f(n_k)$ у различных двигателей и сцеплений. Кроме того, в процессе эксплуатации



автомобиля данные характеристики меняются. Поэтому практически невозможно во всех случаях обеспечить равенство M_c и M в точке, соответствующей $n_k = n_p$. В частности, если вследствие изнашивания рабочих поверхностей сцепления или уменьшения их коэффициента трения (например, из-за нагрева) уменьшается M_c , то это приведет к тому, что при $n_k = n_p M_c < M$.

Для иллюстрации на рис. 11.3 штриховыми линиями изображена зависимость $M_c = f(n_k)$, соответствующая применению сцепления с величинами M_c , меньшими, чем у сцепления с характеристикой, очерченной линиями 1–2, 2–3, 3–4 и 4–5. В этом случае скачкообразное увеличение M_c при $n_k = n_p$ произойдет в случае $M_c < M$, вследствие чего резко увеличится нагрузка в трансмиссии. Такую зависимость $M_c = f(n_k)$ называют несогласованной. С целью исключить подобный режим при реально встречающихся в эксплуатации изменениях характеристик двигателя и сцепления целесообразно после подачи команды на полное включение (блокировку) сцепления увеличить продолжительность такого включения до 1–1,5 с. Тогда при $n_k = n_p$ будет обеспечено полное включение сцепления, исключающее его пробуксовывание, а сам процесс блокировки сцепления будет происходить без перегрузок в трансмиссии.

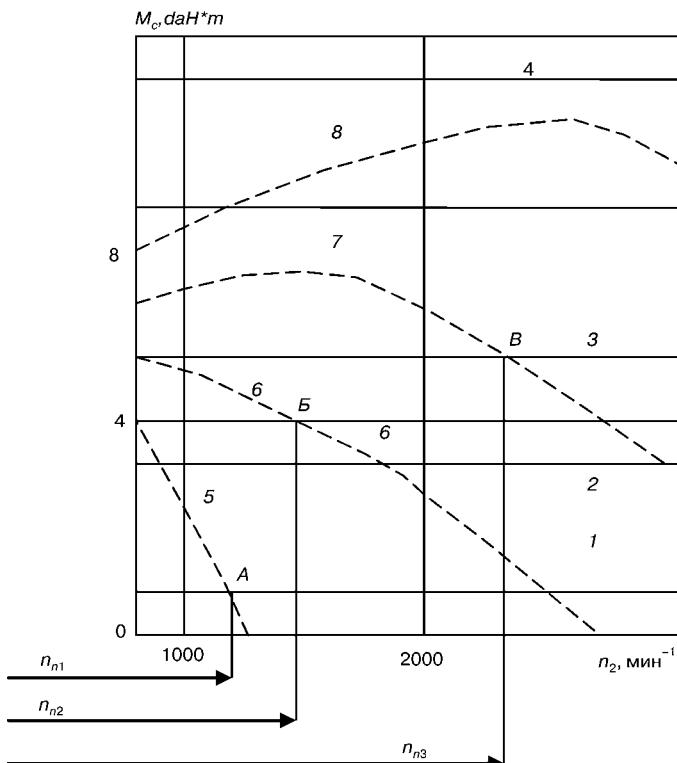
Применение систем автоматизации, обеспечивающих получение $M = f(n_k)$, не является единственным путем создания автоматически действующих сцеплений. Задача может быть решена и с помощью систем автоматизации, повышающих M_c с увеличением угла открытия дроссельной заслонки. Основным элементом таких систем является вакуумный усилиитель следящего действия, т. е. механизм, имеющийся в различных приводах автомобильных агрегатов (например, в усилителях привода тормозных механизмов). Возможность применения для автоматизации управления сцеплением механизмов, широко используемых в автомобилестроении, очевидно, явилась одной из основных причин разработки данных систем, несмотря на то что по некоторым показателям они уступают системам автоматизации, обеспечивающим функциональную зависимость $M_c = f(n_k)$.

Для исключения пробуксовывания сцепления при больших углах α систему управления сцеплением проектируют так, чтобы при таких углах величина M_c была больше M при всех частотах вращения n_k (рис. 11.4, кривые 4 и 8).

Наряду с этим при малых и средних значениях α в определенном диапазоне значений n_k должно выдерживаться соотношение $M > M_c$ (кривые 1 и 5, 2 и 6, 3 и 7). Данное условие является необходимым для обеспечения пробуксовывания сцепления в процессе разгона автомобиля. С ростом угла α увеличиваются n_{p1} , n_{p2} и n_{p3} , при которых $M = M_c$ и, следовательно, прекращается пробуксовывание сцепления (рис. 11.4, точки A, B и В). Поэтому чем больше угол α , тем в большем диапазоне величин n_k происходит пробуксовывание сцепления. По данному показателю рассматриваемая система управления не имеет отличий от систем с зависимостями $M_c = f(n_k)$.

Одним из существенных недостатков систем автоматизации с зависимостью $M_c = f(\alpha)$ является неполное включение сцепления при движении автомобиля при малых и средних углах α . Чтобы исключить этот недостаток,


Рис. 11.4
 Влияние зависимостей
 $M_c = f(\alpha)$ на режимы
 совместной работы
 двигателя и сцепления:
 1–4 — $M_c = f(n_k)$ при раз-
 личных углах α ; 5–8 — $M =$
 $= f(n_k)$ — соответственно при
 тех же углах.



создающий неблагоприятные условия работы выжимного подшипника сцепления, в систему управления сцепления вводят дополнительные устройства, вырабатывающие команду на полное включение сцепления при определенной частоте вращения коленчатого вала или скорости движения автомобиля. Реализация команд обычно обеспечивается клапанными устройствами с электромагнитным приводом, которые действуют параллельно со следящим вакуумным усилителем.

Использование рассматриваемой системы не позволяет в полной мере реализовать динамические показатели автомобиля при разгоне в результате быстрого полного открытия дроссельной заслонки. Так как $M_c > M$, при всех значениях n_k произойдет остановка двигателя. По этой же причине у данной системы несколько хуже показатели, при которых обеспечивается возможность трогания автомобиля с места на подъеме, а также в тяжелых дорожных условиях.

При автоматическом управлении сцеплением для обеспечения нормального переключения передач необходимо сразу же после подачи команды на переключение быстро выключить сцепление независимо от частоты вращения коленчатого вала (за 0,15–0,25 с). После же включения новой передачи должен быть выдержан оптимальный для данных условий эксплуатации темп включения сцепления, который обеспечивал бы без перегрузки трансмиссии требуемую динамику разгона автомобиля. С этой целью в некоторых системах

автоматизации управления сцеплением предусматривается изменение темпа включения сцепления в зависимости от разрежения во впускном коллекторе двигателя или положения педали подачи топлива в двигатель, т. е. факторов, характеризующих нагрузку двигателя. Чем выше нагрузка двигателя, тем быстрее должно включаться сцепление.

С учетом изложенного система автоматического управления сцеплением, реализующая зависимость $M_c = f(n_k)$, должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать командными и исполнительными устройствами максимальную быстроту выключения сцепления (за 0,15–0,25 с) независимо от частоты вращения коленчатого вала;
- осуществлять монотонное увеличение момента, передаваемого сцеплением, по мере повышения частоты вращения коленчатого вала двигателя (в заданном диапазоне частот вращения). При этом режиму холостого хода двигателя должно соответствовать полное выключение сцепления, а после увеличения частоты вращения коленчатого вала до заданного значения должна обеспечиваться блокировка сцепления, исключающая его пробуксовывание;
- после повышения частоты вращения коленчатого вала до заданного значения последующее ее снижение не должно вызывать уменьшение момента, передаваемого сцеплением, до тех пор пока частота вращения не снизится ниже заданного предела;
- при единой для всех режимов движения автомобиля зависимости момента, передаваемого сцеплением, от частоты вращения коленчатого вала двигателя ее переключение в внешней характеристикой двигателя должно происходить в точке, соответствующей крутящему моменту двигателя, равному 85–90% его максимального значения;
- обеспечивать возможность изменения характера зависимости момента, передаваемого сцеплением, от частоты вращения коленчатого вала (при поступлении команд от аппаратуры, управляемой водителем, или срабатывающей автоматически);
- после поступления команды на блокировку сцепления продолжительность ее реализации должна составлять 1–1,5 с;
- темп включения сцепления после переключения передач должен зависеть от режима движения автомобиля и нагрузки двигателя.

Кроме выполнения указанных требований система автоматического управления сцеплением должна иметь высокую надежность и минимальную стоимость. Минимальными также должны быть масса и размеры электронного блока системы управления.

Автоматически действующее сцепление может быть использовано в автомобиле и как самостоятельный узел, и как составной элемент полуавтоматической или автоматической трансмиссии. При использовании автоматически действующего сцепления в составе автоматической трансмиссии требования, связанные с изменением характеристики $M_c = f(n_k)$ в зависимости от условий работы автомобиля, как правило, являются обязательными для обеспечения высокого технического уровня такой трансмиссии.

Для автоматизации управления сцеплением разрабатывались различные системы. Наиболее перспективными являются те, что базируются на использовании стандартного (штатного) фрикционного сцепления автомобиля. Автоматическое управление таким сцеплением возможно, даже если сохранить без изменения серийный силовой агрегат, что экономически наиболее целесообразно.

Для получения заданной функциональной связи между M_c и n_k необходимо на вход системы управления подавать сигнал, зависящий от n_k . Выходной сигнал системы управления может быть различным в зависимости от того, на какую управляющую аппаратуру он должен воздействовать. Так, например, если для регулирования M_c используется гидравтоматика, то выходным сигналом системы управления должно быть давление жидкости, а необходимая функциональная связь между M_c и n_k может быть в принципе обеспечена путем включения в состав системы управления гидронасоса или центробежного регулятора давления с приводом от коленчатого вала.

При использовании для автоматизации управления сцеплением электромагнитных или электромеханических устройств в состав системы управления должен входить преобразователь, выходное напряжение или выходной ток которого являются функцией частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Для обеспечения принудительного выключения сцепления в процессе переключения передач независимо от частоты вращения коленчатого вала во всех известных системах автоматического управления сцеплением используется выключатель, встроенный в рычаг переключения передач. Когда водитель, переключая передачи, прикладывает усилие к рычагу переключения, контакты данного выключателя замыкаются. При этом к источнику питания (бортовой сети автомобиля) подключается электромагнит системы управления, вследствие чего к исполнительному устройству привода сцепления поступает команда на выключение сцепления. Таким образом, в случае гидро- и пневмоавтоматики в составе системы автоматического управления сцеплением необходимо иметь как соответствующий регулятор давления с приводом от коленчатого вала двигателя, так и электромагнит принудительного выключения сцепления. Если же применяется система электроавтоматики, нет необходимости в центробежном регуляторе давления: электромагнит принудительного выключения сцепления может быть одновременно использован и в качестве регулятора давления при условии его подключения к блоку автоматики, в состав которого входит преобразователь частоты входного сигнала в напряжение (ПЧН) или в силу тока (ПЧТ).

В большинстве систем автоматизации управления сцеплением используют исполнительные механизмы с пневмо- или гидроприводом. Для управления ими до последнего времени преимущественно применялись различные виды центробежных регуляторов, действующих на клапанные устройства. Недостатком применения таких регуляторов (или гидронасосов) является необходимость их привода от коленчатого вала двигателя, что часто затруднительно, а иногда и даже невозможно из-за ограниченности места в моторном отделении двигателя. Кроме того, при использовании регуляторов

давления такого типа не обеспечивается получение оптимальных зависимостей $M_c = f(n_k)$ и в том числе различный характер их протекания на режимах разгона и замедления коленчатого вала.

Задачи реализации требуемых законов управления решаются относительно просто при использовании электрических и в особенности электронных систем управления для регулирования давления в исполнительных механизмах привода сцепления. Наиболее сложными в системе автоматического управления сцеплением являются те ее элементы, которые обеспечивают получение требуемой зависимости $M_c = f(n_k)$. Поэтому целесообразность применения электронной системы управления сцеплением прежде всего зависит от возможности создания надежной электронной аппаратуры, осуществляющей преобразование входного сигнала (зависящего от частоты вращения коленчатого вала) в силу тока, поступающего в обмотку электромагнита управления исполнительными механизмами привода сцепления.

При выборе типа системы управления следует сопоставить технико-экономические показатели аппаратуры, основанные как на использовании только электронных устройств, так и элементов релейной автоматики в сочетании с электронными комплектующими изделиями. Следует иметь в виду, что вместо одного электромагнитного реле, как правило, приходится использовать электронное устройство, содержащее от 10 до 20 полупроводниковых и других комплектующих изделий. Поэтому экономические преимущества применения чисто электронной системы управления обычно обеспечиваются только при условии ее создания на базе оптимальных схемотехнических решений. Одним из условий реализации таких решений является рациональное использование в электронной аппаратуре интегральных микросхем масового производства.

Электронная система управления при унифицированном ее исполнении может применяться в автомобилях с различными требуемыми законами изменения $M_c = f(n_k)$. В этом случае достаточно только изменить настройку электронной аппаратуры исходя из условия обеспечения оптимальных условий совместной работы двигателя и сцепления на данной модели автомобиля. Вследствие унификации электронной системы уменьшается ее стоимость.

11.1.2. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Системы автоматического управления сцеплением получили наиболее широкое распространение в 1950–1960-е гг. Их особенностью являлось применение сцеплений специальных конструкций, которые легче поддавались автоматизации по сравнению с обычными фрикционными сцеплениями.

Широкое применение получили центробежные сцепления, а также электромагнитные (фрикционные и из порошковых материалов), имеющие сравнительно простые релейные схемы управления. Недостаток автоматически действующих сцеплений — невозможность использования унифицированного силового агрегата. В конце 1970-х гг. за счет применения электронных систем оказалось возможным относительно простыми средствами автомати-

зировать работу обычного фрикционного сцепления. Следует, однако, отметить, что системы автоматизации управления сцеплением пока что носят единичный характер. В качестве примера можно указать на выпускаемую в Германии систему управления Drive-Matic, которая обеспечивает автоматизацию управления обычным фрикционным сцеплением. Ее комплектуют только из навесных блоков, благодаря чему ее применение не связано с изменением конструкции серийных агрегатов автомобиля.

Исполнительным механизмом системы (рис. 11.5) является вакуумная сервокамера 1 с мембраной 3, шток 4, который через трос 6 воздействует на педаль 7 привода сцепления, осуществляя регулирование M_c .

Кроме того, шток 4 через приводной рычаг 5 связан с первым подвижным элементом 18 кольцевого золотника 19, регулирующего разрежение в полости 2 вакуумной сервокамеры 1. Второй подвижный элемент 20 кольцевого золотника посредством троса 9 соединен с педалью 8 управления дроссельной заслонкой.

В элементах 18 и 20 имеются каналы 22 и 23, которые в зависимости от взаимного расположения элементов либо соединяются между собой, либо разобщаются. При совмещении этих каналов внутренняя полость 21 золотника

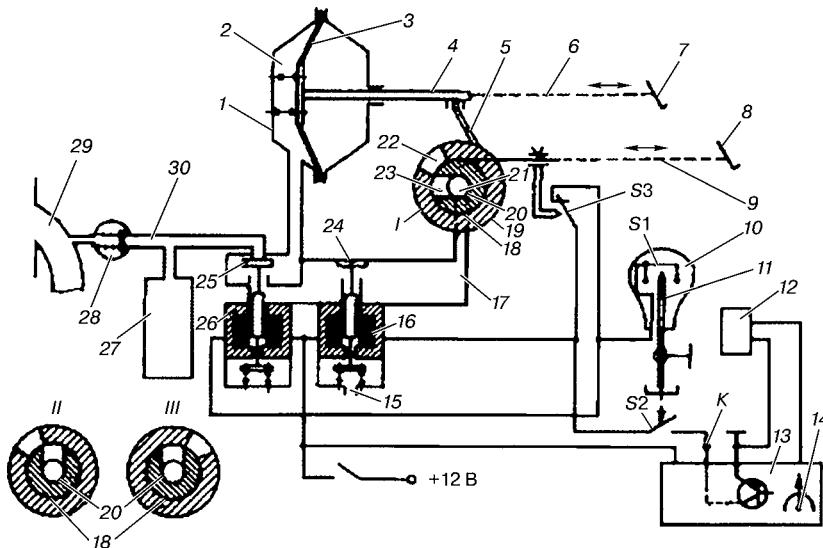


Рис. 11.5

Схема системы автоматического управления сцеплением Drive-Matic:

- I — педаль управления дроссельной заслонкой отпущена, сцепление выключено;
- II — педаль управления дроссельной заслонкой нажата, сцепление выключено;
- III — педаль управления дроссельной заслонкой нажата, сцепление включено;
- 1 — вакуумная сервокамера; 2 — полость сервокамеры; 3 — мембрана; 4 — шток; 5 — рычаг; 6 — трос педали сцепления; 7 — педаль привода сцепления; 8 — педаль управления дроссельной заслонкой; 9 — трос педали привода дроссельной заслонки; 10 — рукоятка переключения передач; 11 — рычаг переключения передач; 12 — датчик скорости; 13 — электронный блок; 14 — потенциометр, 15 — отверстие для выпуска воздуха; 16, 26 — электромагниты; 17 — шланг; 18, 20 — элементы золотника; 19 — золотник; 21 — полость золотника; 22, 23 — каналы; 24 — воздушный клапан; 25 — вакуумный клапан; 27 — ресивер; 28 — обратный клапан; 29 — впускной коллектор двигателя; 30 — шланг.



соединяется с атмосферой, а при разобщении связь указанной полости золотника с атмосферой прерывается. Полость 21 золотника посредством шланга 17 соединяется с полостью 2 сервокамеры 1, поэтому в зависимости от взаимного расположения элементов золотника полость 2 сервокамеры или соединяется, или разъединяется с атмосферой.

Соединение полости 2 сервокамеры с атмосферой может осуществляться и через клапан 24, приводимый от электромагнита 16. При включении электромагнита клапан разъединяет полость сервокамеры с атмосферой (соединяемые через отверстия 15), и разрежение в этой полости определяется только действием золотника. Если же электромагнит выключен, то независимо от действия золотника в полости 2 сервокамеры устанавливается атмосферное давление.

Клапан 25 при срабатывании электромагнита 26 соединяет полость 2 сервокамеры с ресивером 27, который с помощью шланга 30 через обратный клапан 28 связан с впускным коллектором 29 двигателя. При этом клапан 25 одновременно осуществляет отсоединение полости 2 от остальной части системы регулирования разрежением.

Электронный блок 13 управляет включением и выключением электромагнита 16 в зависимости от скорости движения автомобиля, получая входные сигналы от датчика 12 скорости автомобиля. При его движении со скоростями ниже заданной выход блока (вывод К) соединен с «массой», а при достижении автомобилем заданной скорости эта связь прерывается. С помощью потенциометра 14 электронный блок настраивается на срабатывание при требуемой скорости. Когда водитель прикладывает усилие к рукоятке 10 рычага 11 переключения передач в выключателе S1, встроенном в эту рукоятку, контакты замыкаются на «массу». В выключателе S2, расположенном в приводе переключения передач, контакты замыкаются при включении любой из передач. При нейтральном положении коробки передач контакты разомкнуты. С тросом 9 привода дроссельной заслонки связан микровыключатель S3, контакты которого замкнуты только при режиме холостого хода двигателя.

Система Drive-Matic функционирует следующим образом. При установке рычага переключения передач в нейтральное положение и отпущенными педали управления дроссельной заслонкой вследствие размыкания контактов выключателей S1 и S2 электромагниты 16 и 26 оказываются отключенными от источника питания. Вследствие этого клапан 25 отсоединяет полость 2 сервокамеры от ресивера 27, а через открытый воздушный клапан 24 полость 2 сервокамеры соединяется с атмосферой, в результате сцепление включается.

Как только водитель при неподвижном автомобиле включает какую-либо из передач, создается цепь питания электромагнитов 16 и 26 через замкнувшиеся контакты выключателя S2 и замкнутую выходную цепь электронного блока. В результате срабатывают оба электромагнита и воздушный клапан 24 разъединяет полость 2 сервокамеры с атмосферой, а вакуумный клапан 25 соединяет ее с ресивером 27. Это обеспечивает полное выключение сцепления.

При нажатии водителем на педаль 8 управления дроссельной заслонкой размыкаются контакты микровыключателя S3, в результате цепь питания электромагнита 26 разрывается и вакуумный клапан 25 закрывается, разъединяя полость 2 сервокамеры и ресивер. Поскольку вследствие включения электромагнита 16 воздушный клапан 24 оказывается также закрытым, величина разрежения в полости 2 вакуумной камеры определяется только действием золотника 19. Его элемент 18 установлен по отношению к элементу 20 так, что при отпущеной педали 8 и расположении штока 4 в крайнем левом положении (полное выключение сцепления) каналы 22 и 23 элементов золотника оказываются соединенными между собой. Вследствие этого полость 2 сервокамеры соединяется с атмосферой, что приводит к постепенному уменьшению в ней разрежения и, как следствие, к перемещению штока 4 слева направо. Такое перемещение будет продолжаться до тех пор, пока поворот элемента 18 не разобщит каналы 22 и 23. В этом случае связь полости 2 сервокамеры с атмосферой прервется и дальнейшее перемещение штока прекратится.

Элементы золотника располагают таким образом, что при отпущеной педали 8 шток 4 устанавливается в положение 1, соответствующее началу передачи сцеплением момента.

При нажатии водителем на педаль 8 вследствие поворота элемента 20 (положение II золотника) вновь произойдет соединение каналов элементов 18 и 20. Это обусловит соединение полости 2 сервокамеры с атмосферой и дальнейшее перемещение штока в направлении включения сцепления. Такое перемещение прекратится, когда шток 4 опять установится в положение III, соответствующее разобщению каналов 22 и 23. Очевидно, что чем на больший угол была открыта дроссельная заслонка, тем дальше в направлении включения сцепления должен переместиться шток 4 для того, чтобы произошло разобщение каналов элементов. Таким образом, M_c регулируется в зависимости от угла α открытия дроссельной заслонки. Показатели такой системы управления были рассмотрены выше.

После того как автомобиль разгонится до скорости, при которой срабатывает электронный блок, вследствие отключения от массы вывода К блока разрывается цепь питания электромагнита 16. Это обеспечивает открытие воздушного клапана 24, и полость 2 сервокамеры соединяется с атмосферой независимо от взаимного положения элементов золотника. Диаметр отверстия 15 выбирают из условия обеспечения плавного включения сцепления в процессе его блокировки вследствие открытия воздушного клапана.

Принудительная блокировка сцепления после разгона автомобиля до заданной скорости предотвращает повышенное изнашивание выжимного подшипника сцепления при движении автомобиля с малыми углами открытия дроссельной заслонки.

Система Drive-Matic обеспечивает только плавное увеличение M_c по мере увеличения угла α . Если же водитель уменьшает угол открытия заслонки, то M_c не снижается и остается равным тому значению, которое было достигнуто ранее при небольшом угле открытия заслонки. Для того чтобы уменьшить M_c до значения, соответствующего меньшему углу α , необходимо вначале

полностью отпустить педаль 8 для того, чтобы замкнулись контакты микровыключателя S3 и полость 2 сервокамеры соединилась с ресивером, а затем перевести педаль в требуемое положение. Данная особенность системы управления является положительной с точки зрения уменьшения опасности работы сцепления с длительным пробуксовыванием. Однако при этом усложняется маневрирование при движении автомобиля с низкими скоростями, а также уменьшается предельный угол подъема, на котором возможно трогание автомобиля с места.

Принудительное выключение сцепления в процессе переключения передач независимо от частоты вращения коленчатого вала и скорости движения автомобиля обеспечивается при замыкании контактов включателя S1. В этом случае включается электромагнит 26, благодаря чему через открывшийся вакуумный клапан 25 происходит соединение полости 2 сервокамеры с ресивером и, как следствие, полное выключение сцепления.

Система Drive-Matic обеспечивает все требуемые режимы работы автоматического сцепления, так как помимо сервокамеры и регулирующего золотника она содержит значительное количество дополнительной управляющей аппаратуры (два клапана с электромагнитным приводом, три выключателя, датчик скорости, электронный блок управления блокировкой сцепления). Следует, однако, учесть, что электронный блок по функциональному назначению представляет собой один из вариантов частотного компаратора, т. е. степень его сложности невелика и примерно соответствует электронному блоку управления экономайзером принудительного холостого хода, выпускавшегося промышленностью для моделей автомобилей отечественного производства.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЙ ПРИВОД СЦЕПЛЕНИЯ

Электровакуумный привод сцепления (ЭПС) представляет собой универсальную систему автоматического управления стандартным фрикционным сцеплением автомобилей с двигателями, имеющими рабочий объем 0,65–2,5 л, которая изменяет M_c сцепления в зависимости от n_k . Он комплектуется только из навесных узлов, не имеющих механической связи с другими агрегатами автомобиля. Благодаря этому оборудование автомобилей ЭПС не требует изменения конструкции их агрегатов.

Основными узлами ЭПС являются вакуумная сервокамера и электронный блок автоматики, регулирующий силу тока в обмотке электромагнита сервокамеры.

Сцепление включается и выключается в результате перемещения поршня 6 (рис. 11.6) и связанного с ним штока 3 сервокамеры.

Если, например, поршень 6 втягивается внутрь сервокамеры, то шток 3, воздействуя на рычаг 2, перемещает слева направо поршень главного гидроцилиндра 22 сервокамеры. Это вызывает перемещение поршня рабочего гидроцилиндра 19 (слева направо на рис. 11.6), вследствие чего шток 15, нажимая на рычаг привода сцепления, передвигает выжимной подшипник сцепления, выключая его через пяту сцепления. При движении поршня 6 в

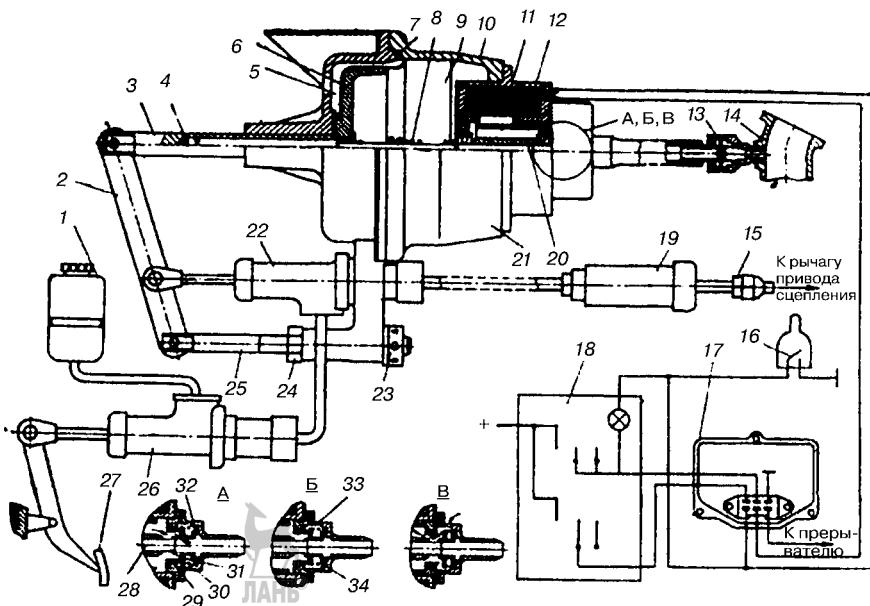


Рис. 11.6
Схема ЭПС:

1 — бачок системы гидропривода; 2 — рычаг сервокамеры; 3 — шток; 4, 8 — пружины; 5 — полость атмосферного давления; 6 — поршень; 7 — мембрана; 9 — полость регулируемого давления; 10 — корпус сервокамеры; 11 — обмотка электромагнита; 12 — электромагнит; 13 — обратный клапан; 14 — впускной коллектор двигателя; 15 — шток рабочего гидроцилиндра; 16 — выключатель сцепления; 17 — электронный блок управления ЭПС; 18 — щиток управления; 19 — рабочий гидроцилиндр; 20 — якорь электромагнита; 21 — сервокамера; 22 — главный гидроцилиндр сервокамеры; 23, 24 — гайки; 25 — опора рычага; 26 — главный гидроцилиндр дублера привода сцепления; 27 — педаль дублера привода сцепления; 28 — толкатель; 29 — неподвижное седло; 30 — подвижное седло; 31 — клапан; 32 — пружина; 33 — отверстие для впуска воздуха; 34 — корпус клапана.

обратном направлении сцепление выключается. Слева от поршня расположена полость 5, постоянно соединенная с атмосферой, а справа находится полость 9 регулируемого давления, в которой давление может меняться от атмосферного до разрежения 60–70 кПа. Чем выше разряжение в данной полости, тем большая разность сил действует на стенки поршня, таким образом возрастает сила, стремящаяся переместить поршень внутрь сервокамеры. Под ее действием через приводные узлы сцепления сжимаются нажимные пружины, вследствие чего уменьшается прижатие нажимного диска к ведомому и соответственно момент, передаваемый сцеплением. По мере уменьшения разрежения в полости 9 снижается сила, действующая на поршень. В результате уменьшается усилие, действующее на нажимные пружины сцепления, что приводит к ослаблению силы прижатия нажимного диска к ведомому. При этом обеспечивается возрастание момента, передаваемого сцеплением.

Разрежение в полости 9 регулируется с помощью клапана 31, на который, с одной стороны, действует пружина 32, а с другой — толкатель 28. В свою очередь, на толкатель действует, во-первых, усилие последовательно

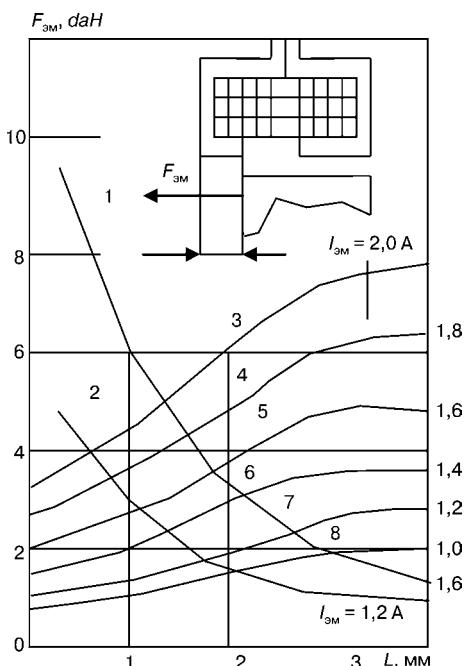


Рис. 11.7

Зависимости тягового усилия $F_{\text{эм}}$ от перемещения якоря и силы тока $I_{\text{эм}}$ в обмотке электромагнита с втягивающимся якорем:

1, 2 — с центральным неподвижным сердечником.

возможность перемещать его якорь в любое положение, которое является устойчивым для данной силы тока. Такой вид тяговых характеристик электромагнита является необходимым условием для функционирования ЭПС.

Если $F_{\text{эм}}$ превысит усилие пружины 4, то толкатель 28 сместится в левое положение и его подвижное седло 30 отйдет от клапана 31. Тогда клапан под действием пружины 32 переместится в крайнее левое положение и прижмется к неподвижному седлу 29. В результате полость 9 через обратный клапан 13 соединится с впускным коллектором 14 двигателя, благодаря чему в данной полости возникнет разряжение, обеспечивающее втягивание поршня 6 внутрь сервокамеры, и, следовательно, M_c уменьшится. Если же усилие пружины 4 станет больше $F_{\text{эм}}$, то подвижное седло, во-первых, закроет центральное отверстие в клапане 31 и тем самым разъединит полость 9 с впускным коллектором двигателя и, во-вторых, отодвинет клапан от неподвижного седла 29, благодаря чему полость 9 через отверстие 33 в корпусе 34 клапана соединится с атмосферой. Произойдет уменьшение разрежения в полости 9, вследствие чего увеличится момент, передаваемый через сцепление.

Усилие $F_{\text{пр}}$ пружины 4 зависит от положения поршня, возрастаая по мере его втягивания внутрь сервокамеры, а $F_{\text{эм}}$, развиваемая электромагнитом, — от силы тока, проходящего через его обмотку. Если при каком-то положении

установленных пружин 4 и 8, которое стремится передвинуть его слева направо, и, во-вторых, сила $F_{\text{эм}}$, развиваемая электромагнитом 12, направленная на встречу усилию указанных пружин. Пружина 8 создает гораздо меньшее усилие по сравнению с 4, поэтому она полностью сжимается после втягивания поршня 6 на 20–25% полного его перемещения, в пределах которого M_c сохраняет максимальное значение. Так как пружина 8 не влияет на характеристики сервокамеры, при рассмотрении принципа действия ЭПС будет приниматься во внимание только действие пружины 4. Электромагнит, в отличие от электромагнитов с втягивающимся якорем обычного типа, выполнен без центрального неподвижного сердечника. В результате по мере втягивания якоря внутрь полости электромагнита регулируемое им тяговое усилие не возрастает, как у обычных электромагнитов (рис. 11.7, кривые 1 и 2), а уменьшается (кривые 3–8).

За счет регулирования силы тока в обмотке электромагнита создается воз-



ЛАНЬ®

поршня $F_{\text{эм}}$ будет больше усилия пружины 4, то поршень будет втягиваться внутрь сервокамеры. Но в этом случае из-за сжатия пружины возрастет развиваемое ею усилие, которое при определенном положении поршня становится равным усилию электромагнита. В результате толкатель 28 установится в такое положение, при котором его подвижное седло 30 только закроет центральное отверстие в клапане 31, не отодвигая сам клапан от неподвижного седла 29. В таком положении клапана будет обеспечено отсоединение полости 9 как от впускного коллектора двигателя, так и от атмосферы, благодаря чему в данной полости установится постоянное разрежение и дальнейшее перемещение поршня прекратится.

Если же в процессе работы сервокамеры при каком-то положении поршня $F_{\text{пр}}$ превысит $F_{\text{эм}}$, то в результате соединения полости сервокамеры с атмосферой произойдет перемещение поршня 6 в направлении его выхода из сервокамеры. Уменьшится и усилие пружины 4, и когда оно сравняется с $F_{\text{эм}}$, клапан 31 соприкоснется и с подвижным, и неподвижным седлом. Полость 9 сервокамеры будет отсоединенна как от источника разряжения, так и от атмосферы, в ней установится постоянное разряжение и положение поршня 6 не будет изменяться.

Данное положение клапана 31 и толкателя 28 соответствует установившемуся режиму работы сервокамеры. Практически же в процессе ее работы поршень колебается с небольшой амплитудой и с высокой частотой относительно установленногося его положения. При этом амплитуда колебаний поршня постепенно уменьшается и в случае постоянства $F_{\text{эм}}$ спустя некоторое время поршень занимает установленвшееся положение.

Чем выше $I_{\text{эм}}$, проходящий через обмотку электромагнита, тем при большем сжатии пружины 4 обеспечивается $F_{\text{пр}} = F_{\text{эм}}$. С целью увеличить усилие пружины 4 поршень 6 должен дальше втянуться внутрь камеры, вследствие чего уменьшается M_c . Таким образом, рассматриваемый привод представляет собой следящую систему, в которой элементом обратной связи является пружина 4.

В исходном состоянии ЭПС, соответствующем $I_{\text{эм}} = 0$, поршень гидроцилиндра 22 занимает крайнее левое положение, которое не зависит от длины опоры 25 рычага 2. Поэтому с увеличением длины опоры 25 при перемещении влево ее конца шток 3 (и поршень 6) будет втягиваться внутрь сервокамеры. В результате уменьшится полный ход штока 3, так как конечное его положение, соответствующее упору поршня 6 в корпус электромагнита, не изменится. Благодаря этому уменьшится зазор между нажимным и ведомым дисками сцепления в конечном положении штока 3, а для обеспечения начала трогания автомобиля с места нажимной диск должен от своего конечного положения пройти меньшее расстояние. Тем самым достигается начало трогания автомобиля с места при большой силе тока $I_{\text{эм}}$, чему соответствует меньшее значение n_k .

Изменение исходного положения штока 3 вследствие его перемещения внутрь сервокамеры вызывает сжатие пружины 8. Однако так как данная пружина рассчитана на небольшое усилие и имеет малую жесткость, ее усилия при регулировании исходного положения штока 3 будут изменяться

незначительно. Поэтому общее усилие, создаваемое пружинами 4 и 8, при работе ЭПС будет зависеть практически только от характеристики пружины 4. В результате обеспечивается примерное постоянство изменения M_c при перемещении штока 3. Для изменения длины опоры 25 нужно отвернуть гайку 24, а затем, вращая гайку 23, переместить опору в требуемое положение и зафиксировать ее, затянув гайку 24. Таким образом, в результате изменения положения опоры 25 осуществляется изменение частоты вращения коленчатого вала, соответствующее началу трогания автомобиля с места, а для получения требуемой зависимости $M_c = f(n_k)$ достаточно обеспечить с помощью электронной системы управления необходимый закон изменения силы тока $I_{\text{эм}}$ в обмотке электромагнита от частоты вращения n_k .

Темп включения сцепления определяется скоростью заполнения полости 9 воздухом, поступающим в нее через отверстия 33 в корпусе 34 при установке клапана 31 в положение 5. Диаметр отверстий 33 выбран таким, что при полностью открытом клапане 31 обеспечивается требуемое быстрое включение сцепления после окончания процесса переключения передач и вместе с тем нагрузки на узлы трансмиссии чрезмерно не увеличиваются.

Принудительное выключение сцепления независимо от частоты вращения коленчатого вала выполняется с помощью входящего в состав ЭПС выключателя 16, установленного в головке рычага переключения передач. Контакты данного выключателя замыкаются, когда водитель прикладывает усилие к рычагу переключения передач. В результате к обмотке электромагнита подводится полное напряжение источника питания, что обеспечивает прохождение через нее тока $I_{\text{эм}} = I_{\text{эм max}} = 3,5-4 \text{ A}$.

ЗАКОНЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭПС, РЕАЛИЗУЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Выше было установлено, что закон изменения M_c определяется зависимостью $I_{\text{эм}}$ от n_k . Обеспечение требуемых режимов работы сцепления при различных условиях эксплуатации автомобиля системой управления ЭПС возможно путем реализации двух режимов работы системы автоматического управления сцеплением — основного и вспомогательного. Различие между ними заключается в том, что при вспомогательном режиме зависимость $I_{\text{эм}} = f(n_k)$ по сравнению с аналогичной для основного режима смешена в зону более высоких n_k , как это показано штриховыми линиями на рис. 11.8.

Благодаря этому при вспомогательном режиме зависимость $M_c = f(n_k)$ также смешается в зону более высоких n_k , что требуется в случае эксплуатации автомобиля в условиях низких отрицательных температур с плохо прогретым двигателем или при движении автомобиля в тяжелых дорожных условиях (с большим сопротивлением движению).

Для перехода от основного режима к вспомогательному водитель должен переключить выключатель на щитке управления.

Основной режим работы системы управления. На основном режиме в диапазоне частот вращения n_k от 800 мин^{-1} (режим холостого хода двигате-

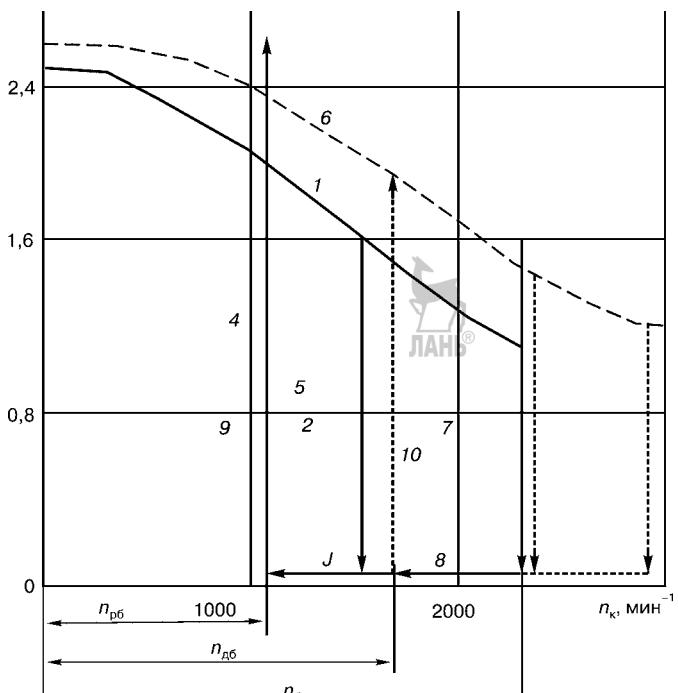


Рис. 11.8
Зависимости силы тока $I_{\text{эм}}$ в обмотке электромагнита ЭПС от n_k :
1–4 — основной режим работы;
5 — деблокировка, основной режим;
6–9 — вспомогательный режим работы;
10 — деблокировка, вспомогательный режим.

ля) до 2200 мин⁻¹ сила тока $I_{\text{эм}}$ монотонно уменьшается от 2,2 до 1,2 А (рис. 11.8, кривая 1).

Вакуумная сервокамера ЭПС спроектирована таким образом, что при прохождении через обмотку электромагнита тока силой 2,1–2,2 А она обеспечивает полное выключение сцепления, а силе тока 1,8–2 А ($n_k = 1100$ –1300 мин⁻¹) сцепление передает M_c , достаточный для трогания автомобиля с места на горизонтальном участке пути. По мере уменьшения $I_{\text{эм}}$ происходит увеличение M_c , и при силе тока 1,2 А ($n_k = 2200$ мин⁻¹) сцепление может передать M_c несколько превышающий максимальный крутящий момент двигателя.

При $n_k > n_b = 2200$ мин⁻¹ происходит уменьшение силы тока от 1,2 А почти до нуля (линия 2), обеспечивающее увеличение момента трения сцепления до максимального, благодаря чему гарантируется блокировка сцепления. Указанное снижение силы тока происходит не мгновенно, а в течение примерно 1,5 с, что исключает возможность появления пиковых нагрузок в трансмиссии автомобиля даже при «несогласованной» характеристики $M_c = f(n_k)$.

После того как реализуется режим блокировки сцепления, $I_{\text{эм}}$ остается близким к нулю (линия 3) до тех пор, пока n_k не уменьшится до значения $n_b = 1100$ мин⁻¹. При такой частоте вращения сила тока (линия 4) скачкообразно увеличивается до 2 А (режим разблокировки сцепления). Далее $I_{\text{эм}}$ в зависимости от n_k изменяется по кривой 1 характеристики $I_{\text{эм}} = f(n_k)$.

Таким образом, если при движении автомобиля частота вращения коленчатого вала двигателя хотя бы кратковременно превысила 2200 мин⁻¹ и вследствие этого произошла блокировка сцепления, то в дальнейшем сцепление

останется заблокированным до тех пор, пока частота вращения коленчатого вала не станет ниже 1100 мин^{-1} . Благодаря этому, как указывалось выше, значительно уменьшается опасность работы сцепления с пробуксовыванием в случае движения автомобиля с низкими скоростями, т. е. исключается основной недостаток большинства известных систем автоматизации управления сцеплением.

При $n_k > n_6$ имеется возможность подачи команды на включение блокировки сцепления. Такой режим (А. с. 929471, СССР, МКИ В 60 К 41/02) реализуется в случае, если во время переключения передач частота вращения n_k оказывается больше $n_{db} = 1500 \text{ мин}^{-1}$ (линия 5). При этом уменьшается опасность длительной работы сцепления с пробуксовыванием, которая могла бы быть в случае движения автомобиля с низкими скоростями при включенных высших передачах. Вместе с тем такое смещение режима блокировки не оказывает влияния на динамику автомобиля при его трогании с места, поскольку низшая передача, на которой начинается разгон автомобиля, включается еще до начала его разгона, чему соответствует условие $n_k < n_{db}$. Рассмотренный режим называется дроблокировкой сцепления. Отметим, что обычно в системах автоматического управления сцеплением такой режим не предусматривается.

Вспомогательный режим работы системы управления. Зависимости $M_c = f(n_k)$ для основного и вспомогательных режимов имеют аналогичный вид и отличаются только тем, что для последнего эта зависимость смещена в зону более высоких n_k . Вследствие этого во вспомогательном режиме сцепление начинает передавать момент, достаточный для трогания автомобиля с места, при $n_k = 1700\text{--}1900 \text{ мин}^{-1}$ (см. рис. 11.8, линия 6), благодаря чему оказывается возможным увеличить частоту вращения коленчатого вала n_{xx} в режиме холостого хода двигателя до $1500\text{--}1600 \text{ мин}^{-1}$ без опасности резкого включения сцепления при трогании автомобиля с места. Тогда можно начинать эксплуатацию автомобиля при плохо прогретом двигателе, у которого во избежание его остановки приходится значительно увеличивать n_{xx} . Во вспомогательном режиме точка пересечения зависимостей $M_c = f(n_k)$ и $M = f(n_k)$ соответствует $n_k = 2500\text{--}2700 \text{ мин}^{-1}$, при котором двигатель развивает момент, близкий к максимальному. В результате обеспечивается улучшение динамики автомобиля. Однако следует иметь в виду, что так как при вспомогательном режиме резко возрастает работа буксования сцепления, данным режимом нужно пользоваться только в течение короткого промежутка времени во избежание ускоренного изнашивания накладок ведомого элемента сцепления.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭПС

Структурная схема электронной системы управления ЭПС приведена на рис. 11.9.

Стабилизатор напряжения предназначен для питания постоянным по величине напряжением ($10\text{--}10,2 \text{ В}$) цепей управления электронного блока, и в том числе элементов частотно-аналогового преобразователя и операцион-

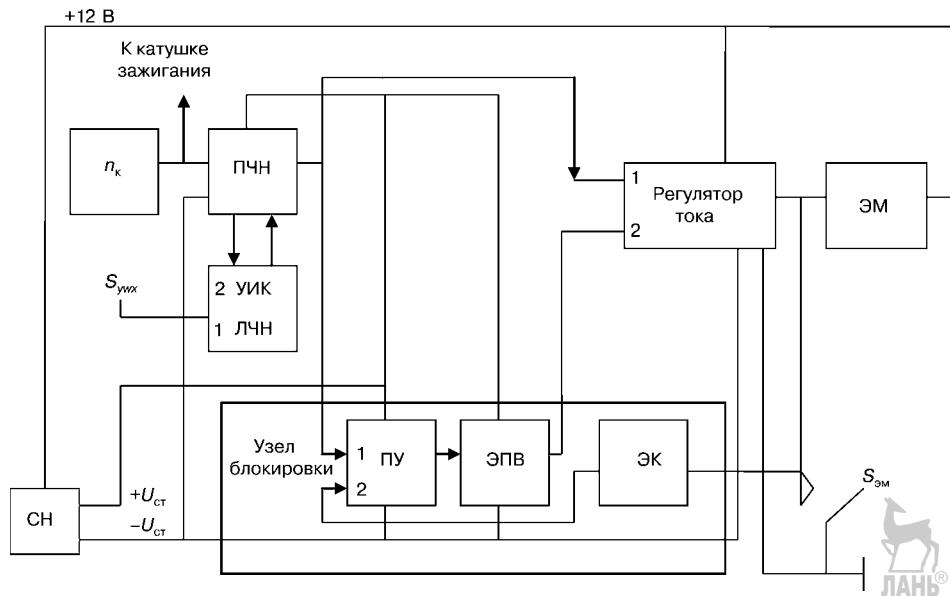


Рис. 11.9
Система управления ЭПС

ных усилителей, входящих в состав регулятора тока и узла блокировки сцепления. По схемотехническому решению СН аналогичен стандартному. В его состав входят также элементы защиты цепей управления электронного блока от перенапряжений в бортовой сети и от подключения блока под напряжение обратной полярности.

Частотно-аналоговый преобразователь. При движении автомобиля происходит изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя. При этих условиях нормальная работа ЭПС оказывается возможной лишь при условии обеспечения высокого быстродействия системы управления, в том числе максимального быстродействия преобразования сигнала, поступающего от датчика частоты вращения коленчатого вала, в напряжение постоянного тока, которое далее используется для изменения силы тока в обмотке электромагнита ЭПС. С учетом данного требования в электронном блоке применен ПЧН с преобразованием входного сигнала в течение полуцикла.

Входным сигналом для ПЧН является напряжение, подводимое от датчика частоты вращения n_k (прерывателя-распределителя) к выводу 1 электронного блока. Входное устройство ПЧН, состоящее из диода, резисторов, конденсатора и транзистора, преобразует входное напряжение блока в последовательность прямоугольных импульсов (см. рис. 11.10), поступающих на коллектор транзистора.

Дальнейшее преобразование последовательности импульсов в $U_{\text{вых}}$ постоянного тока на выходе ПЧН (коллектире транзистора) осуществляется таким образом, как было описано при рассмотрении действия типового ПЧН.

В ПЧН системы управления ЭПС имеется дополнительное устройство изменения характеристики преобразователя, осуществляющее изменение

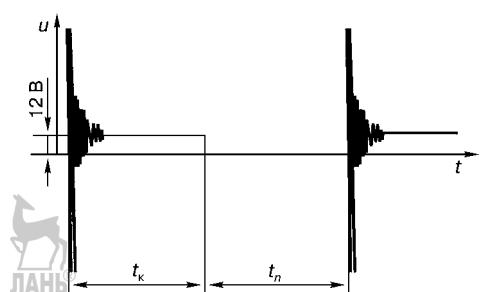


Рис. 11.10
Изменение напряжения
на входе электронного блока

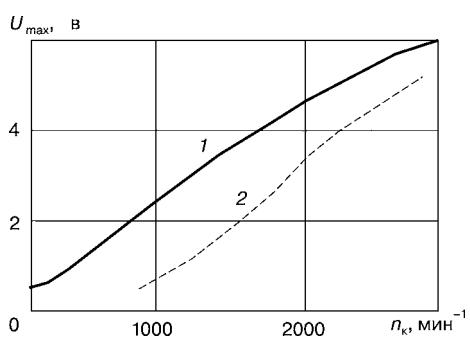


Рис. 11.11
Зависимость $U_{\text{вых}} = f(n_k)$ для ПЧ
при работе ЭПС:

1 — в основном режиме; 2 — во вспомогательном режиме.

Регулятор силы тока. При постоянном $U_{\text{вых}}$, подводимом к входу регулятора силы тока от выхода ПЧН, он должен обеспечивать постоянное среднее значение $I_{\text{эм}}$ в обмотке электромагнита ЭПС независимо от напряжения бортовой сети автомобиля и сопротивления обмотки электромагнита. Только при выполнении данного требования может быть обеспечена стабильная работа ЭПС. Необходимо также, чтобы среднее значение $I_{\text{эм}}$ изменялось в зависимости от n_k , причем по мере возрастания частоты вращения сила тока должна уменьшаться.

Регулятор силы тока (А. с. 901096, СССР, МКИ B60 К 41/02) содержит два функциональных узла: элемент управления (ЭУ) и выходной усилитель (УВ). По принципу действия элемент управления относится к устройствам импульсного регулирования силы тока (РТ). Данный элемент РТ по схеме и принципу действия аналогичен типовому. Поэтому режимы работы элемента управления не рассматриваются, а описываются только УВ и некоторые особенности настройки ЭУ.

При постоянном $U_{\text{вых}}$ РТ обеспечивает постоянное среднее значение $I_{\text{эм}}$ независимо от сопротивления обмотки электромагнита; это сохраняется и при коротком замыкании обмотки электромагнита. Однако в данном случае резко возрастает частота изменения $I_{\text{эм}}$ (на 2–3 порядка), так как в коротко-

зависимости $U_{\text{вых}} = f(n_k)$ при переключении ЭПС во вспомогательный режим (рис. 11.11).

При переключении ЭПС во вспомогательный режим необходимо, чтобы в рабочем диапазоне частот вращения $n_k = 1600\text{--}2600 \text{ мин}^{-1}$, соответствующих данному режиму, крутизна характеристики $U_{\text{вых}} = f(n_k)$ была примерно такой же, как и в рабочем диапазоне частот вращения $n_k = 1000\text{--}2000 \text{ мин}^{-1}$ основного режима работы ЭПС. Напряжение на выходе преобразующей части ПЧН (эмиттеры транзисторов) в зоне частот вращения $n_k = 1000\text{--}2000 \text{ мин}^{-1}$ изменяется более интенсивно, чем в диапазоне частот вращения $n_k = 1600\text{--}2600 \text{ мин}^{-1}$. Поэтому для получения одинаковой крутизны характеристики $U_{\text{вых}} = f(n_k)$ ПЧН при обоих режимах работы ЭПС в нем применено решение, обеспечивающее во вспомогательном режиме уменьшение падения напряжения в резисторах по мере увеличения n_k . Это достигается вследствие включения транзистора по схеме генератора тока.

замкнутой цепи отсутствует индуктивность. Кроме того, увеличивается разница между минимальным и максимальным значениями силы тока в процессе его изменения. При применении в качестве выходного транзистора типа КТ837Х, у которого допустимое напряжение база — эмиттер равно 15 В, обеспечивается защита всех элементов усилителя от напряжения обратной полярности.

За счет совместного действия ПЧН, элемента управления и выходного усилителя РТ обеспечивается получение характеристик $I_{\text{эм}} = f(n_k)$, приведенных на рис. 11.8. Их наклон можно корректировать с помощью подстроечных элементов РТ.

Узел блокировки сцепления. В состав узла блокировки (УБ) сцепления входят:

- пороговое устройство (ПУ), вырабатывающее при определенных значениях n_k команды на осуществление блокировки и разблокировки сцепления, оно выполнено в виде операционного усилителя с положительной обратной связью, реализуемой с помощью транзистора и резисторов;
- элемент плавного включения блокировки (ЭПВ), получающий от ПУ команду на блокировку сцепления и реализующий, плавно уменьшая силу тока в обмотке электромагнита, ЭПС до значения, близкого к нулю. Продолжительность указанного процесса составляет 1,5–2 с;
- элемент корректировки включения блокировки (ЭК), изменяющий после переключения передач настройку порогового устройства для включения блокировки сцепления при уменьшенном значении n_k .

Работа ЭПС с электронной системой управления. При трогании автомобиля с места по мере увеличения n_k растет $U_{\text{вых}}$ на выходе ПЧН, в результате уменьшается $I_{\text{эм}}$ в катушке электромагнита ЭПС. ЭПС обычно регулируется так, что автомобиль трогается с места, когда $I_{\text{эм}}$ становится равной 1,7–1,8 А, чему при основном режиме блока соответствует $n_k = 1100\text{--}1300 \text{ мин}^{-1}$.

После того как частота вращения увеличивается до $n_6 = 2100\text{--}2200 \text{ мин}^{-1}$, $U_{\text{вых}}$ возрастает до уровня, обеспечивающего срабатывание порогового устройства — узла блокировки сцепления. Пороговое устройство включает элемент плавного включения блокировки, который в течение 1,5–2 с уменьшает силу тока в обмотке электромагнита ЭПС до нуля, следствием чего является блокировка сцепления.

После срабатывания узла блокировки сцепления обмотка электромагнита вновь может быть подключена к бортовой сети через РТ, если вследствие снижения n_k до значения $n_{\text{pb}} = 1100\text{--}1200 \text{ мин}^{-1}$ напряжение на выходе ПЧН уменьшится до величины, при которой выключится пороговое устройство.

Если передачи автомобиля включаются, когда частота вращения коленчатого вала превышает $1500\text{--}1600 \text{ мин}^{-1}$ и в процессе переключения она не падает ниже $1200\text{--}1300 \text{ мин}^{-1}$, то после окончания переключения передач сцепление будет заблокировано. В этом случае разблокировка сцепления произойдет, когда n_k уменьшится до значения n_{pb} , при котором выключится пороговое устройство. Работа блока во вспомогательном режиме будет протекать аналогично, но трогание автомобиля с места начнется при $n_k = 1700\text{--}1900 \text{ мин}^{-1}$, а величины n_6 и n_{pb} составят соответственно $2700\text{--}3000$ и $1700\text{--}2000 \text{ мин}^{-1}$.

11.1.3. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрим микропроцессорную систему, разработанную для легкового автомобиля «Фиат-Панда 30». Исполнительным механизмом системы (рис. 11.12) является вакуумная сервокамера 20, шток 21 которой через рычаг 22 воздействует на выжимной подшипник 4 сцепления 5.

Источником разрежения для вакуумной сервокамеры является впускной коллектор 7, соединенный через обратный клапан 13 с вакуумным ресивером 14. При подключении к источнику питания электромагнита 16 открывается управляемый им вакуумный клапан 15, в результате чего вакуумный ресивер соединяется с полостью 19 сервокамеры 20. Если же клапан 15 закрыт, то связь между вакуумным ресивером и полостью 19 прерывается. В случае подключения к источнику питания электромагнита 18 открывается приводимый им воздушный клапан 17, что приводит к соединению полости сервокамеры с атмосферой; при закрытом клапане эта связь прерывается.

Таким образом, при открытии клапана 15 увеличивается разрежение в полости сервокамеры, а при открытии клапана 17, наоборот, уменьшается. Когда оба клапана закрыты, разрежение в полости остается неизменным.

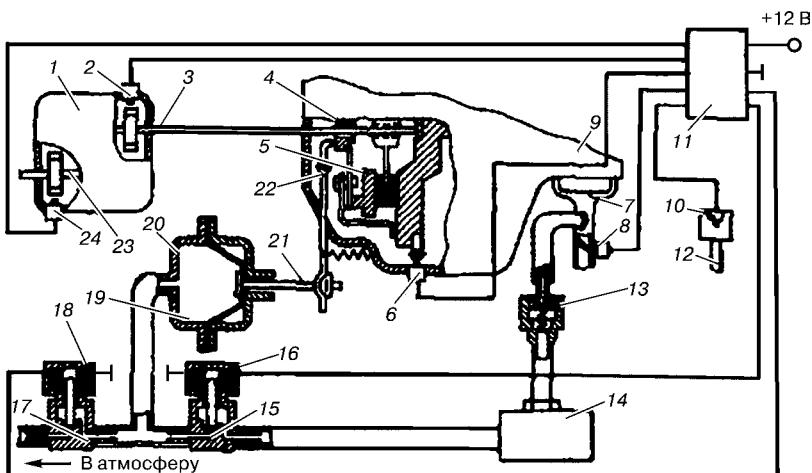


Рис. 11.12
Схема размещения элементов
микропроцессорной системы управления сцеплением:

1 — коробка передач; 2 — датчик частоты вращения ведомого элемента сцепления; 3 — вал ведомого элемента сцепления; 4 — выжимной подшипник; 5 — сцепление; 6 — датчик частоты вращения коленчатого вала; 7 — впускной коллектор двигателя; 8 — датчик положения дроссельной заслонки; 9 — двигатель; 10 — выключатель рычага переключения передач; 11 — электронный блок управления; 12 — рычаг переключения передач; 13 — обратный клапан; 14 — вакуумный ресивер; 15 — клапан соединения сервокамеры с ресивером; 16, 18 — электромагниты; 17 — клапан соединения сервокамеры с атмосферой; 19 — полость регулируемого давления сервокамеры; 20 — сервокамера; 21 — шток сервокамеры; 22 — рычаг; 23 — ведомый вал коробки передач; 24 — датчик частоты вращения ведомого вала коробки передач.

В зависимости от разряжения в полости сервокамеры меняется положение ее штока 21 и соответственно регулируется M_c , передаваемый сцеплением. Из рассмотрения зависимости M_c от перемещения L рычага привода сцепления (рис. 11.13) следует, что M_c изменяется от нуля до максимального при перемещении рычага на 13 мм (полный ход рычага — 46 мм). Это учитывается алгоритмом системы управления.

Работой клапанов 15 и 17 (рис. 11.13) управляет микропроцессорный электронный блок 11 управления, который вырабатывает необходимые команды для включения и выключения электромагнитов 16 и 18 в зависимости от сигналов, получаемых от датчиков частоты вращения 6, 2 и 24 соответственно коленчатого вала, ведомого элемента сцепления, ведомого вала коробки передач и датчика 8 положения дроссельной заслонки карбюратора.

Команду на принудительное выключение сцепления в процессе переключения передач микропроцессорное устройство вырабатывает при поступлении к нему сигнала от выключателя 10, контакты которого замыкаются, когда водитель прикладывает усилие к рычагу переключения передач.

Обработка информации, получаемой от всех элементов системы управления, выполняется центральным микропроцессором ЦПУ типа 8085 с тактовой частотой 2,2 МГц (см. рис. 11.14), он связан с ППЗУ (объем памяти — 2 кбайт) и ОЗУ (объем памяти — 256 байт).

В ППЗУ записываются программа алгоритма, контакты, стандартные программы и т. д. ОЗУ используется для записи результатов промежуточных вычислений, текущих значений измеренных величин и других данных, требуемых для функционирования микропроцессорной системы.

Работа системы в реальном масштабе времени, необходимая для выдачи в определенное время команд управления и организации временных задержек, реализуется таймером. Связь между управляющими элементами системы и силовыми исполнительными устройствами (электромагнитных клапанов) осуществляется через так называемые порты ввода-вывода и усилительные каскады, ОЗУ; порты ввода-вывода и таймер выполнены в виде одной БИС типа 8156.

Микропроцессоры могут обрабатывать сигналы только в виде двоичного цифрового кода. В связи с этим сигналы от датчиков частоты вращения коленчатого вала, ведомого вала сцепления и ведомого вала коробки передач, имеющие вид последовательности импульсов, вначале с помощью ПЧН преобразуются в аналоговый сигнал (напряжения постоянного тока соответственно U_k , U_c , U_a), а затем с помощью АЦП — в двоичный код. Также с помощью АЦП осуществляется преобразование аналогового сигнала датчика положения дроссельной заслонки (потенциометра) в цифровой двоичный код.

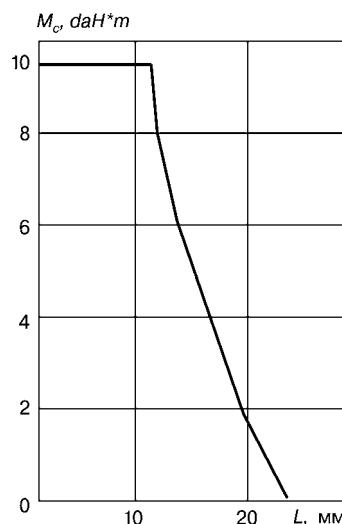


Рис. 11.13
Зависимость $M_c = f(L)$

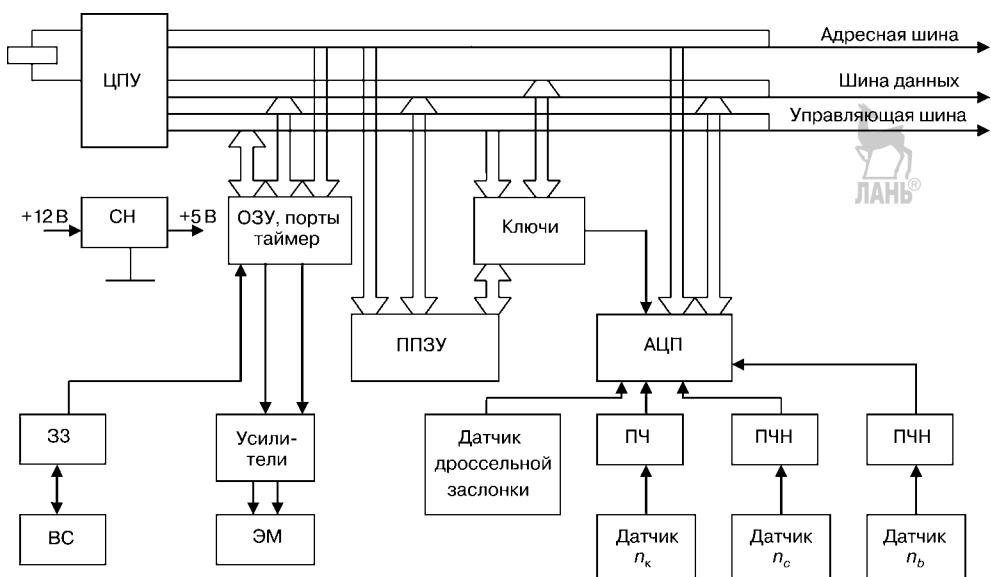


Рис. 11.14
Структурная схема микропроцессорной системы управления сцеплением

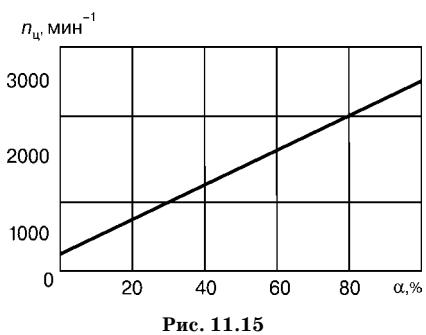


Рис. 11.15
Зависимость $n_{\text{ц}} = f(\alpha)$

Работой АЦП и ППЗУ управляют ключевые элементы, входящие в микросхему типа 8212.

Для исключения нечеткой работы системы управления в режиме принудительного выключения сцепления, возможной при «дребезге» контактов выключателя сцепления, используется устройство с элементом задержки разрыва цепи.

Основной задачей системы управления является регулирование по заданному закону M_c в зависимости от угла открытия дроссельной заслонки, частоты вращения коленчатого вала, его ускорения (замедления) и включения в коробке передач той или иной передачи.

В зависимости от угла открытия дроссельной заслонки микропроцессор рассчитывает «целевую» частоту вращения $n_{\text{ц}}$, которая тем выше, чем на больший угол α открыта дроссельная заслонка (рис. 11.15).

Система управления непрерывно сравнивает значение $n_{\text{ц}}$ с текущей частотой вращения n_{ki} коленчатого вала и определяет знак разности $n_{ki} - n_{\text{ц}}$. Если $n_{\text{ц}} > n_{ki}$, то система управления уменьшает M_c для того, чтобы снизить нагрузку на двигатель и увеличить n_k . Наоборот, при $n_{\text{ц}} < n_{ki}$ значение M_c увеличивается и n_k снижается.

Таким образом, в рассматриваемой системе управления параметром обратной связи для системы регулирования M_c является разность между ис-

тинной и целевой частотами вращения, причем последняя является функцией угла открытия дроссельной заслонки.

Особенность действия системы управления заключается в том, что при постоянстве угла открытия дроссельной заслонки процесс разгона автомобиля в период до окончания пробуксовывания сцепления будет протекать при постоянстве частоты вращения коленчатого вала, которая окажется равной значению n_{α} для данного угла открытия заслонки. Величины M_c в указанные периоды (рис. 11.16, точки A, B, C и D) будут равны крутящим моментам двигателя M , развиваемым при данных значениях угла α и n_{α} .

M_c возрастает по мере увеличения n_k , т. е. в итоге рассматриваемая система управления обеспечивает получение именно такой зависимости $M_c = f(n_k)$, которая является оптимальной для автоматизации действия сцепления. После окончания пробуксовывания сцепления, определяемого системой управления путем сравнения сигналов от датчиков 2 и 6, поступает команда на блокировку сцепления при $t = t_{bl}$ (см. рис. 11.17).

Благодаря этому уменьшается износ узлов привода сцепления, и прежде всего его выжимного подшипника.

Ввиду неизбежного запаздывания в срабатывании исполнительных механизмов по отношению к изменению частоты вращения коленчатого вала для получения качественного процесса регулирования M_c необходимо исключить режимы двигателя без нагрузки, поскольку это приведет к чрезмерно высокому темпу изменения частоты вращения вала. Чтобы удовлетворить данное требование, в системе управления предусмотрено частичное включение сцепления.

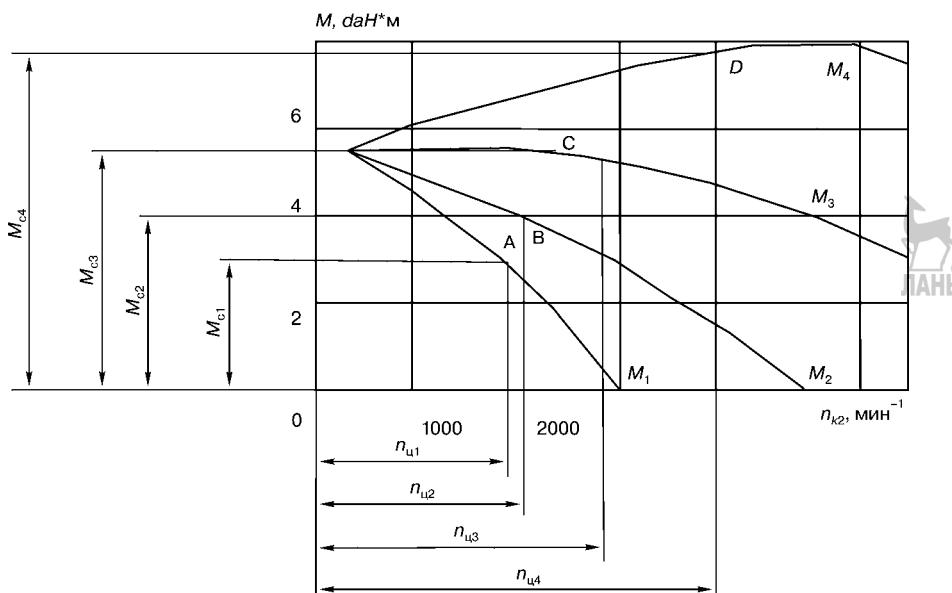


Рис. 11.16
Зависимости $M = f(n_k)$ и $M_c = f(n_k)$ для различных α
при микропроцессорной системе управления сцеплением

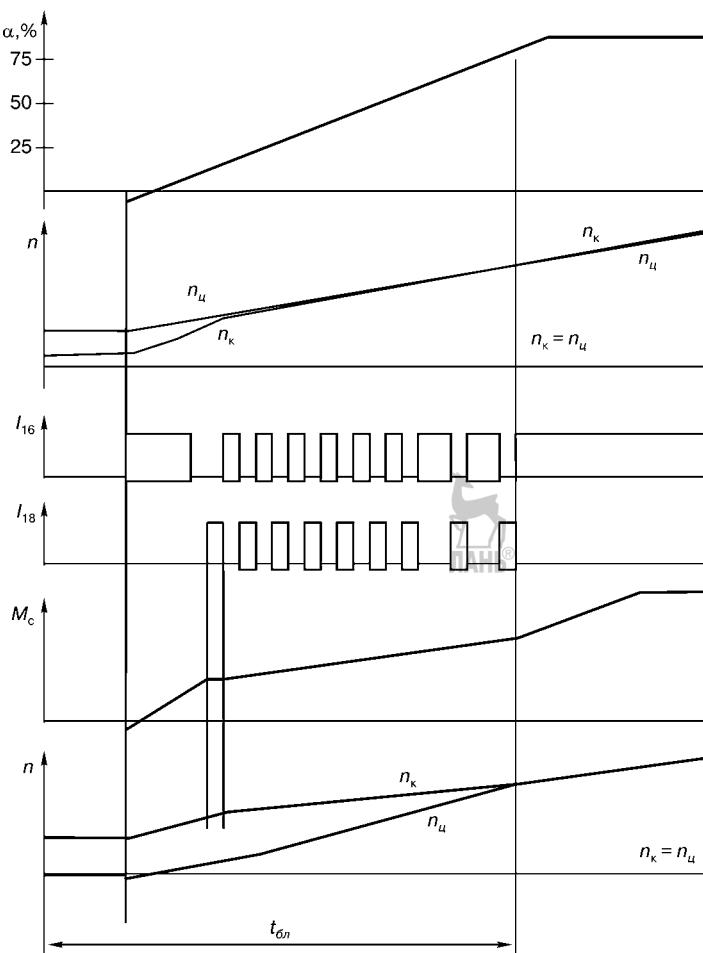


Рис. 11.17
Изменение при разгоне автомобиля угла частот вращения n_k , n_u и n_c , момента M_c и силы тока I_{16} и I_{18} в обмотках электромагнитов управления воздушным и вакуумным клапанами при МПСУ

Указанное требование достигается (как только водитель откроет дроссельную заслонку на небольшой угол) путем принудительного кратковременного открытия клапана 17 (см. рис. 11.13) на 0,15 с (несмотря на то что в данный период $n_k < n_u$). В результате последующее увеличение n_k будет проходить при наличии нагрузки на двигателе, создаваемой частично включенным сцеплением.

Для плавного изменения M_c при его регулировании, осуществляется открытием и закрытием клапанов 15 и 17, должны быть исключены значительные колебания разрежения в полости 19 сервокамеры 20. В рассматриваемой системе управления это достигается непрерывно повторяющимся открытием и закрытием на короткие периоды данных клапанов. При этом увеличение M_c реализуется за счет того, что общая продолжительность от-

крытого состояния клапана 17 оказывается больше общей продолжительности открытого состояния клапана 15. Если же необходимо уменьшить M_c , то это обеспечивается увеличением общей продолжительности открытого состояния клапана 15 (по сравнению с клапаном 17). После того как значение M_c устанавливается на заданном уровне, оба клапана закрываются.

Если во время разгона автомобиля водитель постепенно увеличивает открытие дроссельной заслонки, то это приводит к повышению n_u , вследствие чего n_k при разгоне автомобиля возрастает. При этом для повышения M_c система управления по мере повышения n_k увеличивает общее время открытого состояния воздушного клапана 17, через который полость 19 сервокамеры соединяется с атмосферой. Работа клапанов корректируется также в зависимости от значения ускорений (замедлений) коленчатого вала и ведущего вала коробки передач. По мере увеличения n_k возрастает продолжительность импульсов тока I_{18} (см. рис. 11.17), проходящего через обмотку электромагнита 18 (см. рис. 11.12), и уменьшается продолжительность импульсов тока I_{16} , проходящего через обмотку электромагнита 17. В результате относительная продолжительность открытого состояния воздушного клапана возрастает, а вакуумного клапана 15 — снижается, что и обеспечивает требуемое увеличение M_c при повышении n_k .

В результате поступления в процессор информации от датчиков частоты вращения ведущего и ведомого валов коробки передач система управления определяет, какая из передач включена в каждый момент времени. Благодаря этому можно реализовать различный темп включения сцепления после окончания процесса переключения передач в зависимости от порядка их переключения. Данная особенность системы управления позволяет после перехода с высших на низшие передачи уменьшить темп включения сцепления, что обеспечивает плавность движения автомобиля в процессе переключения передач.

Результаты испытаний рассмотренной системы управления показали возможность применения микропроцессорных систем для автоматизации управления сцеплением.

11.2. ЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПЕРЕДАЧАМИ

В настоящее время практически все автомобильные автоматические трансмиссии массового производства создаются на базе гидромеханических передач (ГМП), которые состоят из гидравлического преобразователя момента (гидротрансформатора) и нескольких автоматически переключаемых передач. Переключение передач осуществляется с помощью фрикционов, имеющих гидро- или пневмопривод. В некоторых конструкциях ГМП такие же фрикции используют для блокировки гидротрансформатора после того, как коэффициент преобразования их момента (коэффициента трансформации) приближается к единице. При блокировке улучшается топливная

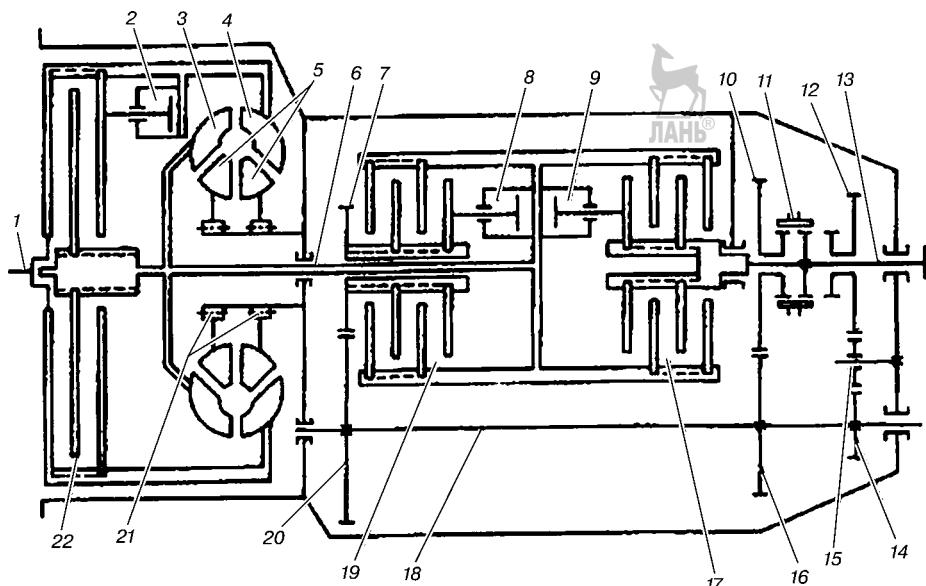


Рис. 11.18

Кинематическая схема двухступенчатой ГМП:

1 — коленчатый вал; 2 — поршень управления фрикционом блокировки гидротрансформатора; 3 — турбинное колесо; 4 — насосное колесо; 5 — реакторы; 6 — ведущий вал; 7 — шестерня понижающей передачи; 8 — поршень включения фрикциона прямой передачи; 10 — ведомое зубчатое колесо переднего хода; 11 — зубчатая муфта переключения передач; 12 — ведомое зубчатое колесо передачи заднего хода; 13 — ведомый вал; 14 — ведущее зубчатое колесо передачи заднего хода; 15 — промежуточная шестерня; 16 — ведущее зубчатое колесо переднего хода; 17 — фрикцион включения прямой передачи; 18 — промежуточный вал; 19 — фрикцион включения понижающей передачи; 20 — зубчатое колесо привода промежуточного вала; 21 — механизм свободного хода; 22 — фрикцион блокировки гидротрансформатора.

экономичность автомобиля, так как при этом исключаются потери в гидротрансформаторе.

В качестве примера выполнения гидромеханической передачи на рис. 11.18 приведена кинематическая схема ГМП типа ЛАЗ-НАМИ «Львив», устанавливаемой на городских автобусах ЛИАЗ-677(8).

Особенность протекания процесса переключения передач ГМП можно рассмотреть на примере перехода с передачи, включаемой фрикционом 19, на передачу, включаемую фрикционом 17. При этом происходит одновременное плавное уменьшение момента, передаваемого фрикционом 19, и плавное возрастание момента, передаваемого фрикционом 17 (режим «перекрытия»). В процессе переключения оба фрикциона взаимно пробуксовывают, однако связь через них двигателя с ведущими колесами автомобиля сохраняется — процесс переключения передач происходит без разрыва потока мощности. Во время переключения передач обычно выключается и фрикцион 22 блокировки гидротрансформатора, демпфирующие свойства которого обеспечивают высокую плавность процесса переключения.

Включение и выключение фрикционов 17, 19 и 22 осуществляется с помощью гидроцилиндров — соответственно 9, 8 и 2, управляемых клапана-

ми, на которые воздействуют электромагниты системы управления. Поэтому основной задачей автоматической системы управления ГМП является коммутирование тока в обмотках электромагнита в соответствии с требуемым законом. Системы автоматического управления ГМП значительно проще, чем аналогичные системы коробок передач иных типов. Эти преимущества в сочетании с высокой плавностью переключения передач обусловили широкое применение ГМП в современном автомобилестроении, несмотря на то что конструкция их существенно сложнее (следовательно, выше стоимость), чем у обычных механических коробок передач и сцепления автомобилей, а КПД ниже.

Ввиду широкого распространения гидромеханических передач улучшение их показателей представляет особый интерес и является стимулом для создания электронных систем управления ГМП.

11.2.1. ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Система управления ГМП должна обеспечивать переключение передач, а в некоторых случаях осуществлять блокировку и разблокировку гидротрансформатора в зависимости от входных управляющих сигналов, поступающих от устройств контроля режима движения автомобиля и нагрузки его двигателя. Наиболее распространены системы управления ГМП, которые вырабатывают команды на переключение передач в зависимости от скорости движения автомобиля и нагрузки двигателя.

При полностью гидравлической системе автоматики ГМП в качестве датчиков скорости движения автомобиля используются гидравлические устройства, обеспечивающие повышение давления жидкости по мере увеличения частоты вращения ведомого вала передачи. В качестве таких устройств наиболее широко применяют центробежные регуляторы давления, а для управления блокировкой гидротрансформатора иногда используются так называемые трубки Пито. Давление жидкости, создаваемое ими, обеспечивает необходимое усилие воздействия на золотники или клапаны в гидросистеме управления ГМП.

Нагрузку двигателя обычно оценивают по положению педали подачи топлива или по разрежению во впускном трубопроводе двигателя. В зависимости от указанных факторов изменяется натяжение действующих на указанные золотники (или клапаны) пружин либо осуществляется их перемещение.

Под действием результирующего давления жидкости, создаваемого гидравлическим устройством, и усилия пружины, зависящего от нагрузки двигателя, перемещаются золотники (открываются и закрываются клапаны), в результате гидравлические цилиндры включения фрикционов ГМП соединяются с напорной магистралью гидросистемы (полость высокого давления жидкости) или с полостью слива (низкое давление). Таким образом, происходит включение и выключение соответствующих фрикционов ГМП, обеспечивающих изменение передаточного отношения ее редуктора, и блокировка

гидротрансформатора. Для создания «перекрытия» в состав гидросистемы управления ГМП входят соответствующие дросселирующие устройства или регулирующие клапаны. Такие же устройства (золотники или клапаны) применяют в гидросистеме управления ГМП в механических или механогидравлических устройствах, вырабатывающих команды на переключение передач.

При оснащении ГМП электронной системой управления обычно гидропривод исполнительных механизмов, воздействующих на фрикционные, сохраняется. Однако взамен золотниковых устройств и гидропривода клапанов системы управления в ней используется электромагнитный привод клапанов, а управление электромагнитами осуществляется электронными устройствами.

Электронная система автоматики, как и любая другая система, должна вырабатывать команды на переключение передач в зависимости от условий движения автомобиля. Однако она обладает более широкими возможностями реализации оптимального закона управления. Так, например, теоретические исследования показывают, что весьма перспективной является система управления ГМП, которая обеспечивает переключение передач в зависимости от режима работы гидротрансформатора: команда на включение последующей (высшей) передачи должна вырабатываться, когда коэффициент трансформации гидротрансформатора приближается к единице. Реализация такой системы управления целесообразна только при использовании электронных устройств.

Применение электронной системы управления позволяет в некоторых случаях упростить конструкцию ГМП и повысить ее надежность. В частности, при управлении по заданному закону электромагнитными клапанами включения фрикционов можно исключить из гидросистемы специальные гидроклапаны плавного включения фрикционов, осуществляющие режим «перекрытия».

Важным преимуществом электронной системы управления ГМП является стабильность ее характеристик, отсутствие необходимости регулирования и технического обслуживания в эксплуатации. Настройка ГМП на заданные условия работы при электронной системе управления может быть обеспечена с точностью до 1–2%, в то время как механические и гидравлические устройства позволяют иметь точность настройки только 5–7%.

Помимо выполнения основной задачи — обеспечения переключения передач по заданному закону — электронная система управления защищает ГМП от аварийных режимов в случае ошибочных действий водителя или отказа одного из элементов управления. Существенным достоинством электронной системы управления ГМП является возможность быстрой замены отказавшего электронного блока управления переключением передач — в штепсельный разъем подключают исправный электронный блок автоматики взамен отказавшего.

Электронная аппаратура управления располагается вне картера ГМП, а узлы автоматики гидравлических систем управления — внутри картера или, в лучшем варианте — под крышкой ГМП. Вследствие этого для ремонта или замены отказавшего элемента требуется гораздо меньше времени и тру-

дозатрат по сравнению с гидросистемами управления. Следует, однако, иметь в виду, что стоимость гидравлических или механогидравлических систем управления ГМП по сравнению с электронными системами автоматики ниже.

В зависимости от выбранного алгоритма управления и настройки системы автоматики можно обеспечить или высокие динамические показатели автомобиля, или наилучшую топливную экономичность. Вот почему приходится выбирать компромиссные варианты алгоритма и настройки системы управления ГМП, которые, не ухудшая заметно динамических показателей автомобиля, позволяют получить хорошую топливную экономичность на наиболее часто встречающихся режимах эксплуатации. Задача может быть успешно решена при переключении передач в зависимости от двух параметров: скорости движения автомобиля и нагрузки на двигатель. Чем выше нагрузка, тем при более высоких частотах вращения коленчатого вала и, следовательно, при больших скоростях движения автомобиля должны переключаться передачи.

С целью улучшить топливную экономичность автомобиля и исключить цикличность процесса переключения передач скорость движения автомобиля, при которой происходит переход с низшей на высшую передачу, должна быть выше скорости, соответствующей обратному переключению. Именно по такому алгоритму действуют практически все выпускаемые серийно ГМП независимо от типа применяемой системы управления. Наряду с этим проводятся разработки и исследования электронных систем управления ГМП, в которых переключение передач осуществляется в зависимости от коэффициента трансформации гидротрансформатора.

При использовании электронной и в особенности микропроцессорной систем управления достаточно просто решается проблема изменения алгоритма переключения передач, а также перенастройка блоков автоматики. Поэтому в зависимости от условий эксплуатации автомобиля можно переключать названные системы управления в наиболее подходящий для данных условий режим их работы. Это особенно целесообразно для автобусов, которые могут эксплуатироваться как в городских условиях, так и на загородных маршрутах, в том числе на горных дорогах.

Для защиты электронного блока ГМП от аварийных режимов (ошибочные действия водителя или отказ элементов самой системы) в состав электронных и микропроцессорных систем управления должны входить устройства, осуществляющие следующие защитные функции:

- предотвращение выхода из строя электронного блока при коротком замыкании или перегрузке по току цепей питания электромагнитов системы управления;
- исключение возможности перехода на низшую передачу при движении с высокой скоростью в случае отказа датчиков скорости автомобиля или нагрузки двигателя, а также при неправильном срабатывании элементов системы автоматического управления;
- предотвращение одновременного включения двух и более передач.

Кроме того, система управления должна содержать устройство индикации срабатывания защиты для сигнализации водителю о наличии неисправности в системе.

11.2.2. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

На некоторых моделях автобусов фирмы Volvo применяется электронная система управления ГМП с «жесткой логикой». В состав электронного блока системы управления в основном входят дискретные элементы и только несколько интегральных микросхем. Управление переключением передач осуществляется в зависимости от скорости движения автобуса и нагрузки двигателя. В качестве датчика скорости автобуса используется индукторный датчик, частота выходного сигнала которого пропорциональна частоте вращения ведомого вала ГМП. Датчиком нагрузки двигателя является ступенчатый электрический переключатель, связанный с педалью подачи топлива.

Опыт длительной эксплуатации автобуса, оборудованного ГМП с такой системой управления, показал ее высокую надежность. В качестве примера выполнения элементов, входящих в электронную систему управления ГМП, ниже приведено описание отечественной системы управления ГМП автобусов большой вместимости.

Рассматриваемая электронная система предназначена для автоматического управления трехступенчатой гидромеханической передачей с блокируемым гидротрансформатором. По мере разгона автобуса происходит последовательное переключение передач с первой до третьей и далее блокируется гидротрансформатор. Кроме этого, данная система выполняет защитные функции. Структурная схема показана на рис. 11.19, ее электронный блок — на рис. 11.20, а подключение к нему внешних устройств — на рис. 11.21.

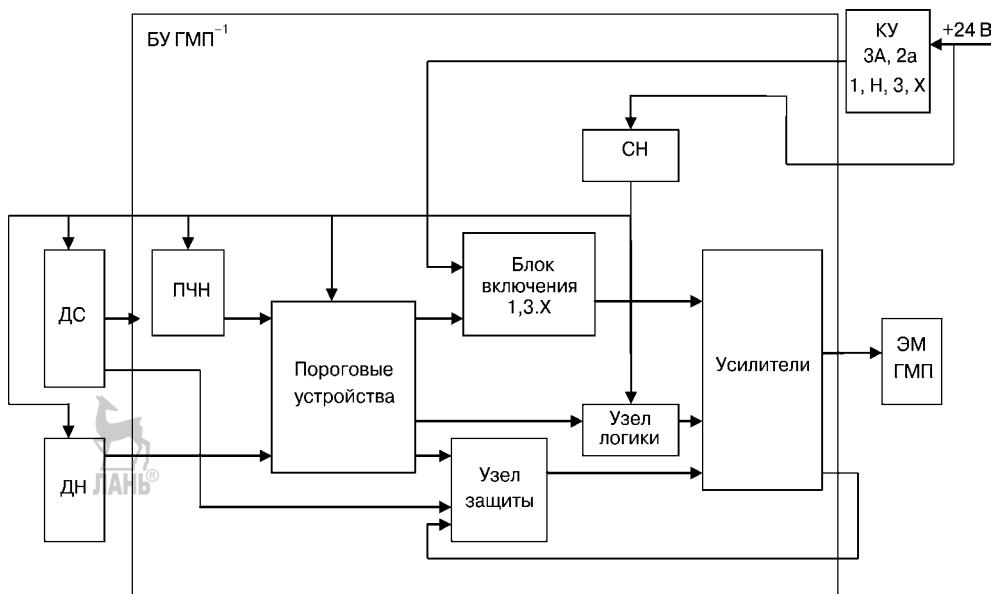


Рис. 11.19
Структурная схема электронной системы управления ГМП автобусов

В качестве датчика скорости (ДС) (рис. 11.19) использован индукторный датчик, расположенный над одним из зубчатых колес, установленных на ведомом валу ГМП. Поэтому частота изменения ЭДС на выходе ДС пропорциональна частоте вращения данного вала ГМП, т. е. пропорциональна скорости движения автобуса.

Датчик нагрузки (ДН) двигателя выполнен в виде двух переключателей S_1 и S_2 , приводимых от педали подачи топлива. До тех пор, пока эта педаль находится в положениях, соответствующих подаче менее 50% максимального значения величины подачи топлива, ни один из переключателей датчика нагрузки не срабатывает (положение контактов переключателей показано на рис. 11.21).

Переключатель S_1 срабатывает, когда педаль устанавливается в любое из положений, при которых подача топлива в двигатель составляет от 50 до 100% максимального ее значения. Для обеспечения срабатывания переключателя S_2 водитель должен установить педаль подачи топлива дальше положения, соответствующего 100% подачи топлива в двигатель, преодолев при этом усилие дополнительной пружины. Такой режим носит название «кикдаун» (kickdown) и используется для принудительного включения понижающей передачи автобуса с целью повышения его динамики в процессе обгона.

Помимо основного режима управления гидропередачей, при котором по мере разгона автобуса осуществляется автоматическое переключение всех передач и блокировка гидротрансформатора (положение 3A контроллера), в системе управления предусмотрены еще следующие режимы:

- автоматического переключения первой и второй передач с блокировкой гидротрансформатора после разгона автобуса на второй передаче до заданной скорости (положение 2A контроллера);
- принудительного включения первой передачи независимо от скорости движения автобуса (положение 1 контроллера);

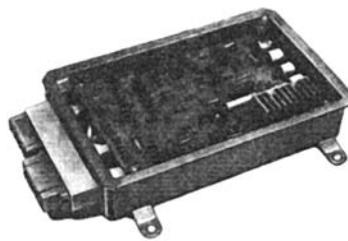


Рис. 11.20
Электронный блок системы управления ГМП автобусов

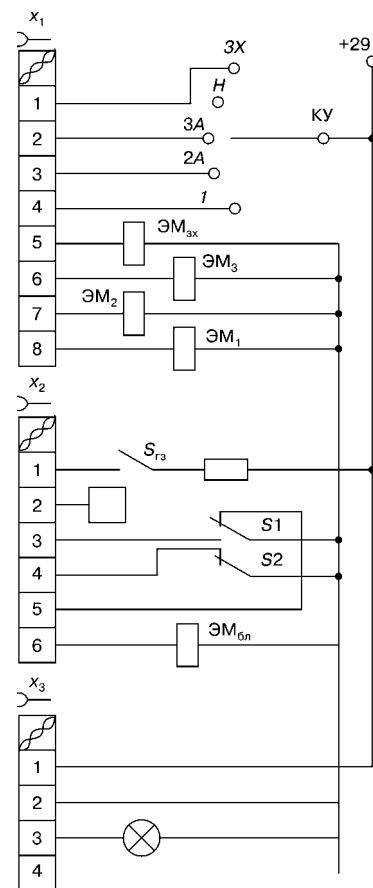


Рис. 11.21
Схема подключения аппарата управления и электромагнитов системы управления ГМП к электронному блоку:

KU — контроллер управления; S_{r_3} — выключатель гидрозамедлителя; S_1 , S_2 — микропереключатели датчика нагрузки двигателя; $\mathcal{E}M_1$, $\mathcal{E}M_2$, $\mathcal{E}M_3$, $\mathcal{E}M_{6L}$, $\mathcal{E}M_{ax}$ — электромагниты системы управления.

- принудительного включения передачи заднего хода независимо от скорости движения автобуса (положение ЗХ контроллера).

Задание необходимого режима работы системы управления ГМП осуществляется с помощью контроллера управления (КУ), схема подключения которого к электронному блоку приведена на рис. 11.21.

В табл. 11.1 указан порядок подключения электромагнитов системы управления к источнику питания в зависимости от включаемой передачи и положения контроллера управления.

Узел пороговых устройств. Команды на переключение передач и блокировку гидротрансформатора вырабатывает пороговое устройство системы управления в зависимости от уровня напряжения на выходе ПЧН и положения переключателей ДН.

Для переключения со второй на первую передачу скорость автобуса должна снизиться до значения $v_{\text{II}-\text{I}}$, при котором сила тока I_h станет меньше значения I_i .

При включенной второй передаче, вследствие действия в делителе усилителя DA1 положительной обратной связи, уменьшение I_h до значения I_i произойдет при скорости $v_{\text{II}-\text{I}}$, которая меньше скорости $v_{\text{I-II}}$. Тем самым преодолевается цикличность переключения передач.

Для создания оптимальных условий работы ГМП в режиме 2A необходимо, чтобы на данном режиме блокировка гидротрансформатора включалась при более низких скоростях движения автобуса по сравнению с режимом 3A.

Узел логики. При движении автобуса с низкой скоростью напряжение на выходах усилителей близко к нулю, что соответствует уровню логического «0» для устройств, осуществляющих последующую обработку данных сигналов. По мере разгона автобуса высокое напряжение вначале появляется на выходах усилителей. Данный уровень напряжения является уровнем логи-

Таблица 11.1

Порядок подключения электромагнитов системы управления

Положение контроллера	Включаемая передача	Электромагниты				
		ЭМ1	ЭМ2	ЭМ3	ЭМ _{бл}	ЭМ _{ax}
3A	Первая	+	-	-	-	-
	Вторая	-	+	-	-	-
	Третья	-	-	+	-	-
	Третья*	-	-	+	+	-
2A	Первая	+	-	-	-	-
	Вторая	-	+	-	-	-
	Вторая**	-	+	-	+	-
1 ЛАНЬ®	Первая	+	-	-	-	-
ЗХ	Задний ход	-	-	-	-	+
H	Нейтральное положение	-	-	-	-	-

Примечания: * «+» — электромагнит включен; «-» — выключен; ** — с режимом блокировки гидротрансформатора.

Истинность дешифратора К511ИД1

Номер строки	Уровень напряжения на входах			Номер выхода, соединенного с «массой»
	1	2	4	
Предусмотренные комбинации входных сигналов				
1	0	0	0	0
2	1	0	0	1
3	1	1	0	3
4	1	1	1	7
Непредусмотренные комбинации входных сигналов				
5	0	1	1	6
6	1	0	1	5
7	0	1	0	2
8	0	0	1	4

ческой «1» при последующей обработке сигналов, которая выполняется с помощью дешифратора, в качестве которого применена интегральная микросхема типа К511ИД1. Дешифратор осуществляет преобразование различных комбинаций сигналов на выходе усилителей в сигналы, необходимые для включения в заданной последовательности усилителей питания электромагнитов системы управления.

Дешифратор К511ИД1 имеет четыре входа, из которых используются только три (1, 2 и 4). В зависимости от комбинации сигналов с уровнями логического «0» или логической «1», подводимых к входам дешифратора, какой-либо один из его выходов соединяется с «массой».

Таблица истинности дешифратора (табл. 11.2) содержит указания, каким комбинациям сигналов на входе дешифратора соответствует соединение с «массой» того или иного его выхода.

При выполнении в схеме управления соединении выхода усилителя с входом 1 дешифратора и выходов усилителей соответственно с входами 2 и 4 дешифратора напряжение с уровнем логической «1» может появиться на входе с более высоким номером только при наличии такого уровня на входах с более низкими номерами. Такие комбинации сигналов, указанные в строках 1–4 табл. 11.2, в дальнейшем будут обозначаться термином «предусмотренные», поскольку соответствуют нормальной работе пороговых устройств. Любая другая комбинация сигналов на входах дешифратора, указанная в строках 5–8 табл. 11.2, возможна только при нарушении нормальной работы пороговых устройств. Поэтому в дальнейшем такие комбинации сигналов обозначаются термином «непредусмотренные».

Для обеспечения в процессе разгона автобуса порядка подключения электромагнитов (табл. 11.1) соединение входов усилителей питания электромагнитов с выходами дешифратора выполнено в соответствии с данными табл. 11.3 (режимы ЗА и 2А).

Подключение выходных усилителей питания электромагнитов к выходам дешифратора

Передача	Электромагнит	Транзисторы усилителя		Номер выхода дешифратора, соединенного с усилителем
		Выходной	Предвыходной	
Положение 3A контроллера				
Первая	ЭМ1	VT15	VT10	0
Вторая	ЭМ2	VT16	VT11	1
Третья	ЭМ3	VT12	VT17	3
Третья*	ЭМ3	VT12	VT17	3
	ЭМ _{бл}	ME13	VT18	7
Задний ход	ЭМ _{ах}	VT14	VT8	
Положение 2A контроллера				
Первая	ЭМ1	VT15	VT10	0
Вторая	ЭМ2	VT16	VT11	1
Вторая*	ЭМ2	VT16	VT11	1 или 3
	ЭМ _{бл}	VT14	VT18	7

Примечание. * — с режимом блокировки гидротрансформатора.

При работе гидрозамедлителя во время движения автобуса на второй и третьей передачах в системе управления осуществляется блокировка гидротрансформатора для того, чтобы в дополнение к тормозному эффекту от работы гидрозамедлителя получить дополнительное тормозное усилие за счет реализации режима торможения двигателем. После включения в ГМП первой передачи во избежание остановки двигателя в процессе торможения автобуса осуществляется разблокировка гидротрансформатора.

Блок принудительного включения передач обеспечивает возможность принудительного включения первой передачи и передачи заднего хода при установке контроллера управления в положение соответственно 1 и 3Х (см. рис. 11.20).

Система защиты предохраняет ГМП от включения первой передачи или передачи заднего хода, если они до этого не были включены. Однако в тех случаях, когда та или другая из этих передач уже была включена, они не будут выключаться независимо от скорости движения автобуса. Это достигается за счет действия транзистора VT5, который открывается, как только происходит включение передачи заднего хода или первой передачи. В результате к базе транзистора VT5 подводится напряжение (через резистор R80 от коллектора транзистора VT15 или через R78 от VT14). Открытый VT5 независимо от уровня напряжения на выходе усилителя DA1 обеспечивает отсутствие напряжения на базе транзистора VT7. Поэтому VT7 оказывается закрытым и не будет препятствовать включению VT8.

Узел защиты. Ошибочная подача команды на одновременное включение двух и более электромагнитов может иметь место при неисправностях эле-

ментов управления выходными усилителями электронного блока или в случае пробоя транзисторов этих усилителей, вследствие чего они становятся неуправляемыми. Для того чтобы исключить аварийное включение ГМП при любой из указанных неисправностей, в системе управления используется специальное электромагнитное реле защиты. Его контакты размыкаются и отключают усилители питания электромагнитов от бортовой сети при поступлении от системы управления команды на срабатывание защиты.

Основным управляющим элементом устройства защиты является операционный усилитель (интегральная микросхема К553УД2).

Устройство защиты от непредусмотренного включения низших передач при отказе датчика скорости является ответственным элементом электронной системы управления ГМП, так как отказ датчика скорости воспринимается системой как остановка автобуса. В результате должна последовать команда на включение первой передачи, что при движении автобуса с высокой скоростью может привести к созданию аварийной ситуации.

Таблица 11.4

Порядок переключения передач при отказе усилителей пороговых устройств

Скорость автобуса	Номер входа дешифратора			Номер выхо- да, соединен- ного с массой	Передача
	1	2	4		
Усилиители исправны					
0— v_{I-II}	0	0	0	0	Первая
$v_{I-II}-v_{III-III}$	1	0	0	1	Вторая
$v_{II-III}-v_{III-(III+БЛ)}^*$	1	1	0	3	Третья
Более $v_{III-(III+БЛ)}$	1	1	1	7	Третья**
Отказ усилителя DA1					
0— v_{I-II}	0	0	0	0	Первая
$v_{I-II}-v_{III-III}$	0	0	0	0	Первая
$v_{II-III}-v_{III-(III+БЛ)}$	0	1	0	2	Третья
Более $v_{III-(III+БЛ)}$	0	1	1	6	Третья
Отказ усилителя DA2					
0— v_{I-II}	0	0	0	0	Первая
$v_{I-II}-v_{III-III}$	1	0	0	1	Вторая
$v_{II-III}-v_{III-(III+БЛ)}$	1	0	0	1	Вторая
Более $v_{III-(III+БЛ)}$	1	0	1	5	Третья
Отказ усилителей DA1 и DA2					
0— v_{I-II}	0	0	0	0	Первая
$v_{I-II}-v_{III-III}$	0	0	0	0	Первая
$v_{II-III}-v_{III-(III+БЛ)}$	0	0	0	0	Первая
Более $v_{III-(III+БЛ)}$	0	0	1	1	Третья

Примечания: * — скорость, соответствующая включению блокировки (БЛ) гидротрансформатора;
** — с режимом блокировки гидротрансформатора.

В рассматриваемой системе управления использование в качестве узла логики дешифратора позволило уменьшить опасность такого непредусмотренного включения низших передач. Если во время движения автобуса с высокой скоростью вследствие отказа усилителей или напряжение на входе 1 или 2 дешифратора снижается до уровня логического «0», то это приводит к появлению непредусмотренной комбинации сигналов на входе дешифратора (табл. 11.2). В результате от «массы» отключаются выходы 0, 1, 3, 7 дешифратора, которые подключают цепи питания всех выходных усилителей. Тем самым предотвращается самопроизвольное аварийное включение низших передач. С целью предотвращения переключения ГМП в нейтральное положение, что в ряде случаев нежелательно с точки зрения безопасности эксплуатации автобуса, в схеме управления выполнено соединение между собой выходов 2–6 дешифратора, благодаря чему при любой непредусмотренной комбинации сигналов на выходе дешифратора во время движения автобуса с высокой скоростью обеспечивается включение третьей передачи.

В табл. 11.4 приведен порядок переключения передач при различных скоростях движения автобуса для любых вариантов отказов усилителей.

Анализ данных показывает, что в случае отказа одного из этих усилителей в зоне средних и низких скоростей движения в худшем случае произойдет переключение «вниз» только на одну передачу. Лишь при одновременном отказе обоих усилителей, что маловероятно, в диапазоне скоростей $v_{II-III} - v_{III-(III+BL)}$ возможно переключение «вниз» на две передачи, а в остальных диапазонах скоростей может иметь место переключение «вниз» только на одну передачу.

11.2.3. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Микропроцессорные системы управления все чаще используются для управления автобусов, грузовых и легковых автомобилей с ГМП. Система управления ATEC фирмы Allison Transmission предназначена для управления трех-, пятиступенчатыми ГМП, оборудованными блоком электромагнитных клапанов. С их помощью осуществляется управление исполнительными устройствами (фрикционами) ГМП. ATEC (рис. 11.22) является многофункциональной системой управления.

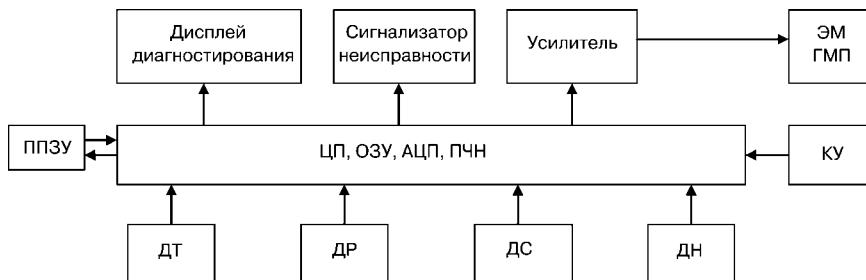


Рис. 11.22

Структурная схема микропроцессорной системы управления ГМП грузовых автомобилей

В зависимости от сигналов, поступающих от датчика скорости (ДС), контролирующего скорость автомобиля, и датчика нагрузки (ДН) двигателя, микропроцессор в соответствии с заложенной в него программой и с учетом положения контроллера управления (КУ) вырабатывает команды на переключение передач и блокировку гидротрансформатора. Эти сигналы усиливаются силовыми элементами системы управления и далее поступают к электромагнитам привода соответствующих гидравлических клапанов. Исполнительными устройствами ГМП являются фрикционные, включением и выключением которых управляют указанные гидравлические клапаны.

Кроме выработки сигналов на переключение передач система управления осуществляет ряд функций защиты передачи от аварийных режимов, а также используется для диагностирования состояния узлов ГМП по сигналам датчиков температуры масла (ДТ) и давления в системе (ДР).

ГМП является сложным и дорогостоящим агрегатом, поэтому современная сигнализация о возможных неисправностях позволяет существенно повысить ее эксплуатационную надежность. Система может быть применена для управления трансмиссиями различного типа благодаря тому, что корректировка алгоритма управления применительно к различным типам трансмиссий требует лишь изменения программы, записываемой в ППЗУ, т. е. сама система не претерпевает никаких конструктивных изменений.

Использование микропроцессорной системы управления ГМП обеспечивает переключение передач при скоростях движения автомобиля, отличающихся не более чем на 1% от их оптимальных значений. При применении гидравлической системы управления допуск скоростей, соответствующих переключению передач, составляет 5–10%.

Сравнительные испытания ГМП с гидравлической и микропроцессорной системами управления показали, что применение последней позволяет экономить до 7–8% топлива.

Система управления АТЕК выполняет следующие защитные функции:

- предотвращает возможность включения передачи заднего хода при скорости движения выше установленного предела;
- запрещает переключение передач в случае пробуксовывания или блокировки колес автомобиля при торможении, благодаря чему исключается ошибочное действие системы управления;
- предотвращает чрезмерное увеличение частоты вращения коленчатого вала при спуске с горы с включенным замедлителем.

Кроме того, система управления, будучи связанной с встроенными устройствами диагностирования, не только сигнализирует водителю о наличии каких-либо неисправностей или отклонений показателей ГМП от нормы (перегрев масла или недопустимое изменение давления в гидросистеме), но и записывает в памяти эти данные для последующего анализа причин появления неисправностей.

Микропроцессорная система управления для четырехступенчатой планетарной ГМП типа 4НР22 предназначена для применения в легковых автомобилях большого класса. Ее структурная схема представлена на рис. 11.23, а электронный блок — на рис. 11.24.

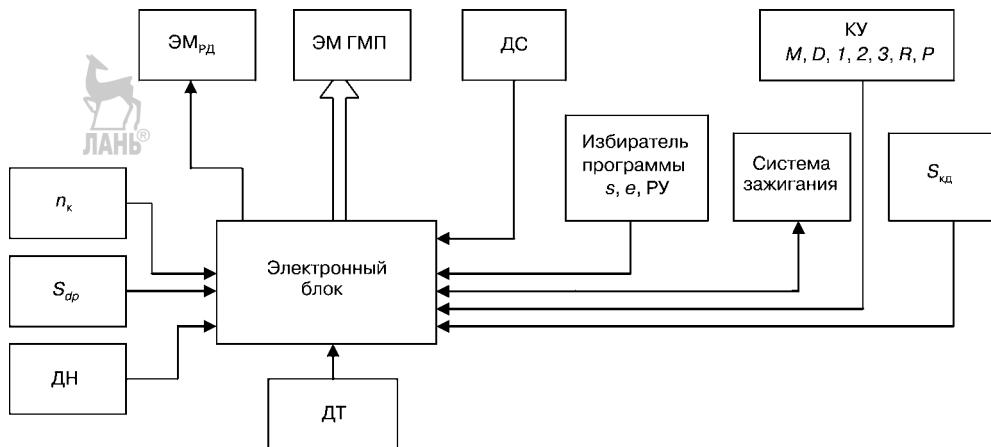


Рис. 11.23
Структурная схема микропроцессорной системы управления ГМП

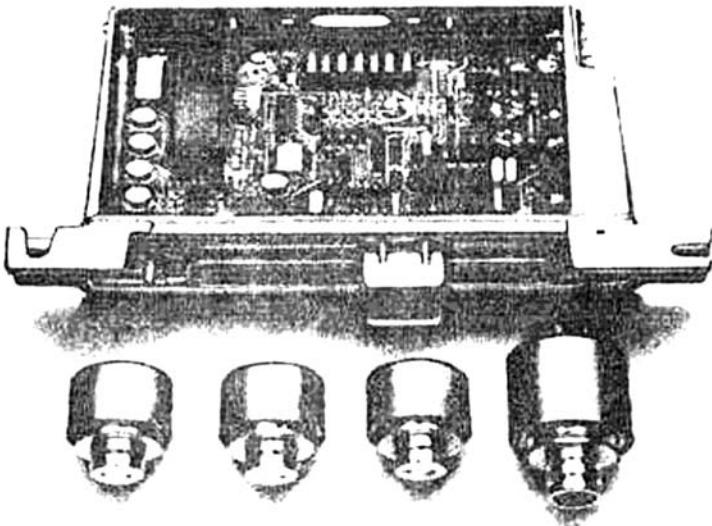


Рис. 11.24
Электронный блок МПСУ ГМП и электромагнитные клапаны

Режим автоматического переключения передач реализуется при установке контроллера управления (КУ) в положение D . При этом в зависимости от положения избирателя программ, заранее устанавливаемого водителем в то или иное положение, обеспечивается переключение передач по программе e , соответствующей наилучшей топливной экономичности, или по программе s , позволяющей реализовать наивысшие динамические показатели автомобиля.

При переключении передач по программе s четвертая передача не включается. Данный режим переключения используют при эксплуатации автомобиля в горных условиях или при движении с прицепом.

Установка избирателя программ в ручное управление (РУ) обеспечивает отключение автоматики, что позволяет водителю с помощью контроллера управления принудительно включать первую-третью передачи, а также передачу заднего хода (см. рис. 11.23, положение *R*). Положение *P* контроллера используется для механического соединения ведущего вала ГМП с картером для обеспечения затормаживания неподвижного автомобиля во время стоянок.

Электронный блок выполняет следующие функции управления:

- вырабатывает команды на переключение ступеней передачи и блокировку гидротрансформатора в зависимости от скорости автомобиля и нагрузки двигателя путем подключения к источнику электропитания электромагнитов ЭМ ГМП привода гидравлических клапанов управления тормозами ГМП;
- воздействует на электронную систему зажигания двигателя для уменьшения крутящего момента двигателя, что позволяет снизить нагрузки в трансмиссии автомобиля и увеличить плавность процесса переключения в период переключения передач, тем самым уменьшая буксование фрикционных элементов системы управления ГМП;
- осуществляет регулирование давления в гидросистеме ГМП с учетом режима ее работы путем воздействия на электромагнит ЭМ_{рд} системы регулирования давления, что позволяет снизить потери в ГМП и благоприятно влияет на плавность процесса переключения передач;
- корректирует режимы переключения в зависимости от теплового режима благодаря подключению электронного блока к датчику температуры;
- обеспечивает режим переключения передач, соответствующий максимальному использованию мощности двигателя, при подаче сигнала от выключателя «кирдаун» $S_{\text{ки}}$;
- защищает передачу от аварийных режимов в случае неправильных действий водителя или отказа элементов системы управления. В частности, система защиты предотвращает возможность:
 - ошибочного включения передачи заднего хода при движении автомобиля вперед со скоростью выше заданной;
 - переключения с третьей на вторую и со второй на первую передачу при скоростях движения, превышающих их заданные максимальные значения.

В случае отключения системы управления от источника питания осуществляется автоматическое включение третьей передачи с помощью подпружиненного гидравлического клапана.

Микропроцессорная система применяется для управления трехступенчатыми планетарными ГМП легковых автомобилей Renault Fuego (выпускался с 1980-го по 1992-й г.).

В зависимости от положения рычага контроллера управления (КУ) (см. рис. 11.25) сигналы от него через интерфейс поступают в микропроцессор (МП), что обеспечивает следующие режимы работы ГМП: автоматическое переключение всех трех передач (положение *D*), автоматическое переключение первой и второй передач (положение *2*), принудительное

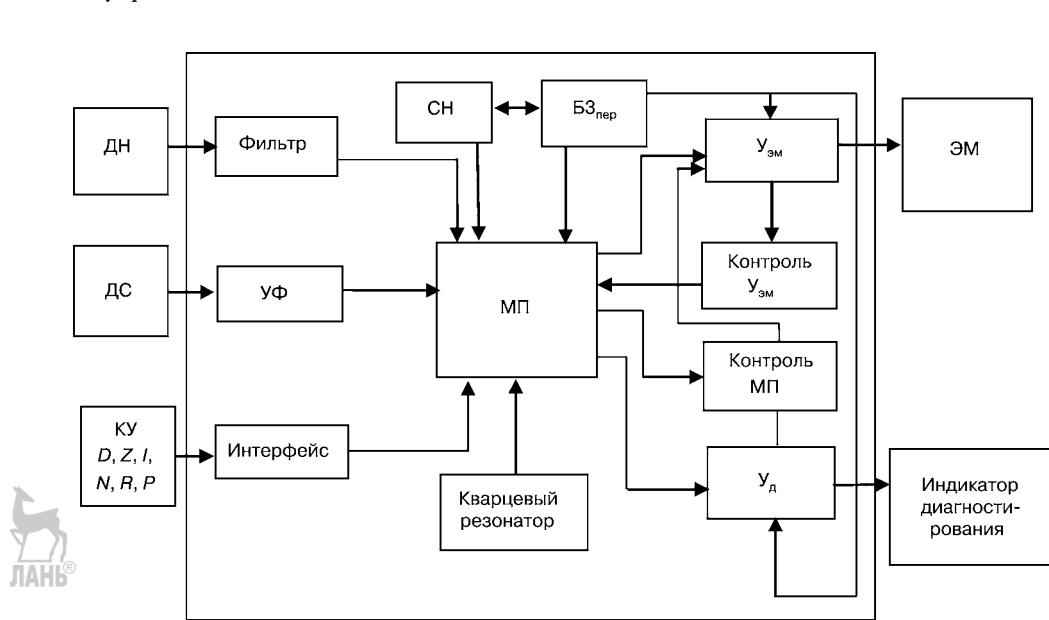


Рис. 11.25
Структурная схема МПСУ ГМПИ легковых автомобилей

включение первой передачи (положение 1), передачи заднего хода (положение R), установка в нейтраль (положение N) и блокировка передачи (положение P).

Переключением передач при установке контроллера в положения D, 2 и 1 управляют два клапана с электромагнитным приводом (ЭМ1 и ЭМ2). При отключении электромагнитов от источников питания в случае установки контроллера в положения 1, 2 и D включается третья передача, а установка контроллера в положения R, N и P обеспечивает включение соответственно передачи заднего хода, нейтрали и режима блокировки передач.

Основным элементом электронного блока рассматриваемой микропроцессорной системы является микропроцессор типа 80A22, в состав которого входят собственно микропроцессор, счетчик, генератор, ОЗУ с памятью объемом 64 слова, ПЗУ с памятью объемом 2048 слов, 28 линий «ввод-вывод», из которых две идут от входящего в состав микропроцессора аналого-цифрового преобразователя и еще две рассчитаны на выходной ток до 7 мА. Допустимое напряжение питания микропроцессора — 4,5–6,5 В, рабочий температурный диапазон от –40 до +100°C, число команд — более 70. По существу, данный микропроцессор является микроЭВМ.

Автоматическое переключение передач осуществляется в зависимости от двух параметров — скорости движения автомобиля и нагрузки двигателя. Сигналы поступают в электронный блок через усилитель-формирователь (УФ) от датчика скорости (ДС) автомобиля индукторного типа и через фильтр — от датчика нагрузки (ДН) двигателя, выполненного в виде потенциометра, приводящегося от педали подачи топлива. С помощью этого потенциометра реализуется и режим «кикдаун», используемый для обгонов.

Связь потенциометра с педалью управления дроссельной заслонкой выполняется таким образом, что при полностью отпущеной педали напряжение на его выходе не снижается до нуля. Наличие на выходе потенциометра напряжения не ниже определенного уровня является индикатором его исправности и применяется в системе защиты ГМП от неправильного срабатывания. С учетом сигналов, получаемых от датчиков скорости автомобиля и нагрузки двигателя, в соответствии с заданной программой микропроцессор вырабатывает команды управления клапанами ЭМ1 и ЭМ2, обеспечивающие требуемые переключения передач. Для того чтобы произошло переключение со второй на третью передачу, необходимо отключить от источника питания оба клапана. Однако нельзя гарантированно обеспечить одновременное выключение обоих клапанов, в связи с чем возможен случай, когда клапан ЭМ1 выключится несколько раньше ЭМ2. В результате какое-то время при выключенном ЭМ1 ЭМ2 окажется включенным. Это соответствует включению первой передачи, т. е. вместо того, чтобы произошло переключение со второй на третью передачу, будет иметь место переход со второй на первую передачу. Вот почему микропроцессорная система управления после выработки команды перехода со второй на третью передачу задерживает на небольшой период времени выключение ЭМ1, благодаря чему в период переключения возможна только комбинация в виде открытого ЭМ1 и закрытого ЭМ2 с последующим закрытием обоих клапанов.

Помимо выработки команд на переключение передач микропроцессорная система управляет перекрытием включения фрикционов и тормозов ГМП, обеспечивая необходимую плавность процесса переключения.

Программой, заложенной в микропроцессорную систему, предусмотрено выполнение следующих защитных функций:

- предотвращение непредусмотренного переключения со второй или третьей на первую передачу при отказе датчика скорости. Для решения этой задачи сигнал датчика скорости автомобиля после его поступления в микропроцессор сравнивается с пороговым сигналом, соответствующим скорости движения 3 км/ч. Если при движении автомобиля на второй или третьей передаче сигнал преобразователя оказался ниже порогового сигнала, то это свидетельствует о неисправности преобразователя и переключение на первую передачу запрещается. Одновременно выдается сигнал неисправности на контрольную лампу;
- исключение неправильного функционирования системы управления в случае отказа датчика нагрузки. Если такой отказ происходит и напряжение на выходе датчика снижается до нуля вместо заданного минимального его значения при исправном датчике, то система управления не принимает сигналов от датчика нагрузки и при этом включается третья передача;
- контроль прохождения в микропроцессоре заданной программы. С этой целью в конце выполнения микропроцессором отдельных участков программы выдается короткий импульс, который запускает одновибратор. Сигнал, вырабатываемый одновибратором, более продолжительный, чем период выполнения участка программы между двумя соседними импульсами.

Благодаря этому при нормальном функционировании микропроцессора на выходе одновибратора все время поддерживается высокий уровень сигнала. Если же в работе микропроцессора происходят остановки или «зацикливание», то на выходе одновибратора появляется напряжение низкого уровня, что является сигналом неисправности. Этот элемент защиты, имеющий обозначение «Контроль МП», обеспечивает отключение усилителей питания электромагнитов клапанов;

- проверка правильности прохождения команд через усилители питания электромагнитов клапанов сопоставлением сигналов на входах и выходах усилителей. При несоответствии этих сигналов микропроцессор вырабатывает команду на выключение усилителей. Блок защиты (БЗ_{пер}) предотвращает ошибочные переключения во время переходных процессов в системе.

Помимо выполнения защитных операций микропроцессор все обнаруженные неисправности через усилитель диагностики (Y_d) отображает на индикаторе диагностики, сигнализируя о них водителю. Кроме того, код этих неисправностей записывается в память микропроцессора и сохраняется в ней до тех пор, пока к микропроцессору подведено напряжение питания.

Микропроцессорные системы управления ГМП, так же как и электронные системы управления с «жесткой» логикой, осуществляют переключение передач по одинаковому принципу, т. е. в зависимости от двух параметров — скорости автомобиля и нагрузки двигателя. Особенность применения микропроцессорных систем заключается в том, что с их помощью наилучшим образом могут быть решены задачи регулирования давления в гидросистеме, диагностирования состояния узлов ГМП, вопросы защиты передачи от аварийных режимов, а также вспомогательные информационные задачи (с помощью цифровых спидометров, тахометров и т. д.). Микропроцессорные системы могут быть использованы и для регулирования темпа включения фрикционов ГМП с целью обеспечения высокой плавности движения автомобиля во время переключения передач.

11.3. АНТИБЛОКИРОВОЧНЫЕ ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ

Из теории автомобиля известно, что качение колеса в процессе его затормаживания может происходить только в том случае, когда тормозной момент, прикладываемый к колесу, уравновешивается реактивным моментом, равным произведению нормальной нагрузки P_z , действующей на колесо, на продольный коэффициент его сцепления с дорогой $\varphi_{п}$. Его величина зависит как от состояния дорожного покрытия, так и от величины проскальзывания колеса по отношению к покрытию, которую оценивают безразмерным коэффициентом

$$S = \frac{v_a - v_t}{v_a},$$

где v_a — скорость автомобиля; v_t — скорость колеса в точке его соприкосновения с дорожным покрытием.

При увеличении S от нуля до определенной величины S_{kp} (рис. 11.26) происходит увеличение ϕ_n .

В диапазоне значений $S = S_{kp} - 1$ по мере увеличения значения S коэффициент ϕ_n уменьшается. Вследствие этого, если тормозной момент M_t , прикладываемый к колесу, не превысит значения $P_z \phi_{n\max}$, то в процессе торможения автомобиля произойдет качение колеса при одновременном его проскальзывании. Величина последнего установится именно такой, какая необходима для получения коэффициента ϕ_{pt} , определяемого выражением $\phi_{pt} = M_t/P_z$.

Если же M_t окажется больше $P_z \phi_{n\max}$, то даже при значении $S = S_{kp}$ реактивный момент не сможет уравновесить тормозной момент. В результате скольжение S превысит значение S_{kp} , что повлечет за собой дальнейшее уменьшение ϕ_n и в итоге вызовет блокировку колеса.

Поскольку при $S = 1$ ϕ_n значительно меньше значения $\phi_{n\max}$, тормозные качества автомобиля при блокировке колес существенно ухудшаются. Блокировка колес автомобиля крайне желательна еще и потому, что в этом случае происходит резкое уменьшение ϕ_b , как это показано на рис. 11.26. В результате могут быть потеряны устойчивость и управляемость автомобиля.

Очевидно, что названные опасные последствия возможны в случае торможения автомобиля при низких значениях ϕ_n и ϕ_b . Поэтому основной задачей антиблокировочных тормозных систем является поддержание в процессе торможения автомобиля такого тормозного момента, который при данном состоянии дорожного покрытия исключит возможность блокировки колес и обеспечит максимально возможный эффект торможения.

Для решения данной задачи антиблокировочная система (АБС) должна в зависимости от характера изменения частоты вращения затормаживаемых колес автоматически изменять давление в цилиндрах или тормозных камерах исполнительных тормозных механизмов. При этом необходимо обеспечить высокое быстродействие регулирования давления, для чего используют быстро действующие клапанные устройства с электромагнитным приводом — так называемые модуляторы давления.

Многолетний опыт разработки и исследования антиблокировочных устройств показал, что предъявляемые к этим устройствам очень жесткие требования могут быть удовлетворены только при условии применения электронных систем управления. В настоящее время серийно выпускается ряд электронных антиблокировочных тормозных систем на базе как электронных блоков с жесткой логикой, так и микропроцессорных

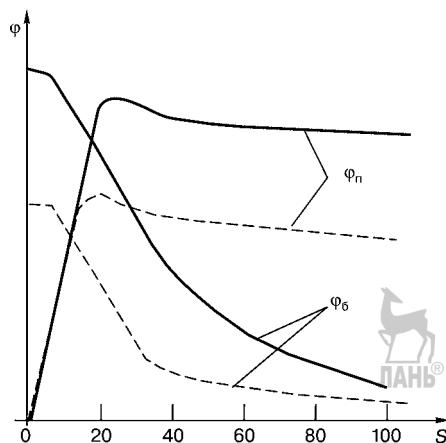


Рис. 11.26
Зависимость коэффициентов сцепления автомобильного колеса — продольного ϕ_n и поперечного (бокового) ϕ_b — от величины его проскальзывания S :
прямая линия — сухая дорога; пунктир — скользкая дорога.

комплектов. Они предназначены для автомобилей, имеющих гидравлический и пневматический привод тормозных механизмов, причем может быть обеспечено индивидуальное управление процессом торможения каждого из колес и одновременное воздействие на несколько затормаживаемых колес.

Рассмотрим принцип действия различных АБС. Следует отметить, что для обеспечения нормального функционирования системы она должна непрерывно сравнивать скорость автомобиля и частоту вращения затормаживаемого колеса. Основная трудность решения этой задачи связана с отсутствием надежных и простых методов определения скорости автомобиля, т. е. методов, не связанных с измерением частоты вращения его колес. Поэтому для оценки скорости автомобиля в АБС используют те или иные косвенные методы, в основном основанные на запоминании частоты вращения колес в определенные периоды времени. Способ решения данной задачи и последующая обработка получаемого сигнала являются факторами, существенно влияющими на алгоритм АБС.

Известно очень большое число самых различных алгоритмов АБС, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Однако по большинству показателей предпочтение отдается тем, которые основаны на сопоставлении реальной частоты вращения колеса и так называемой опорной частоты вращения, рассчитываемой в каждый момент времени системой управления.

В большинстве современных АБС изменение давления в исполнительных устройствах тормозных систем организовано по трехфазовому циклу: наряду с процессами увеличения или уменьшения давления в цилиндрах (или камерах) тормозного привода предусмотрена также фаза (называемая «отсечкой») поддержания в них постоянного давления. В течение этой фазы рабочая полость цилиндров (или тормозных камер) отсоединенна как от ис-

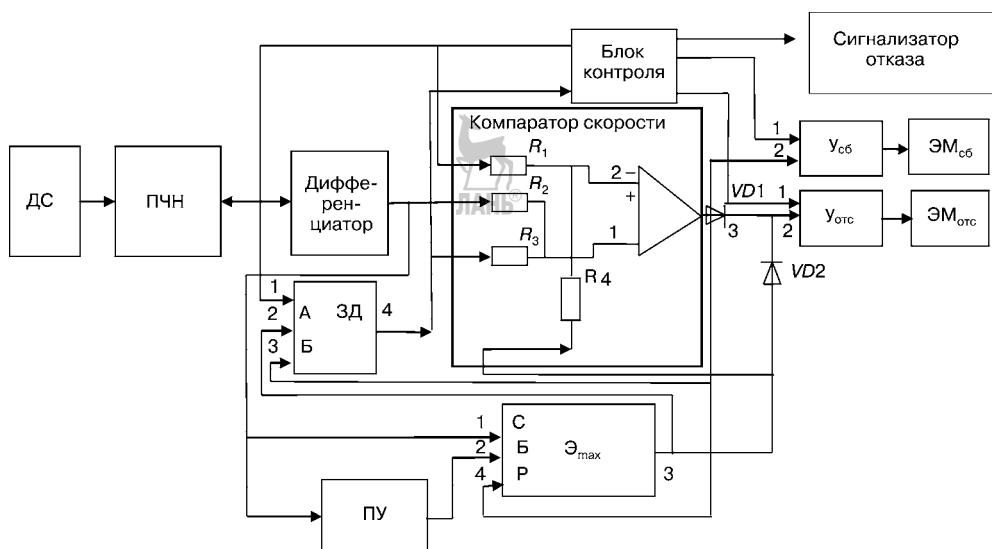


Рис. 11.27

Структурная схема электронной антиблокировочной системы управления тормозами

точника давления, так и от атмосферы (при пневмоприводе тормозных механизмов) или от полости слива (при гидроприводе тормозных механизмов).

Благодаря высокой чувствительности системы управления поддержание ею требуемого торможения усилия обеспечивается за счет непрерывного повторения циклов регулирования давления. Частота следования этих циклов — 5–10 Гц. При этих условиях наличие фазы «отсечки» позволяет существенно уменьшить расход сжатого воздуха или снизить подачу гидронасоса.

На первом этапе применения АБС выявились их серьезные недостатки, основной из которых — недостаточная надежность. В результате последующей доработки недостатки были устранены, и в настоящее время антиблокировочные системы получают все большее распространение. Однако из-за относительно высокой стоимости этих систем они в основном используются на магистральных многоосных автопоездах. Для легковых автомобилей массового производства АБС пока что являются дорогим оборудованием.

В качестве примера реализации АБС на базе аналоговой схемотехники рассмотрим принцип действия системы такого типа, разработанной для автомобилей с пневмоприводом тормозных механизмов. Система управления действует по трехфазному циклу, а ее алгоритм основан на сопоставлении опорного сигнала с сигналом, определяющим фактическую частоту вращения затормаживаемого колеса (А. с. № 553142, СССР, В 60 Т 8/08). Рассмотрим принцип действия системы управления (рис. 11.27).

Будем считать, что торможение автомобиля происходит на скользкой дороге, вследствие чего частота вращения затормаживаемого колеса снижается быстрее, чем уменьшается скорость автомобиля v_a (рис. 11.28).

На рис. 11.29 t — время начала торможения, t_z — время, при котором разность сигналов, определяемых кривыми 1 и 5, достигнет заданной величины. В момент t_z тормозная камера отключается от источника давления и одновременно соединяется с атмосферой, что обеспечивает перевод системы регулирования в фазу «сброс» давления. Падение давления будет продолжаться до тех пор, пока вследствие уменьшения тормозного момента не прекратится замедление колеса.

В момент времени $t = t_3$ произойдет изменение знака производной $d\omega_k/dt$, в результате вырабатывается сигнал для прекращения снижения давления в тормозной камере путем перевода системы регулирования в режим «отсечки».

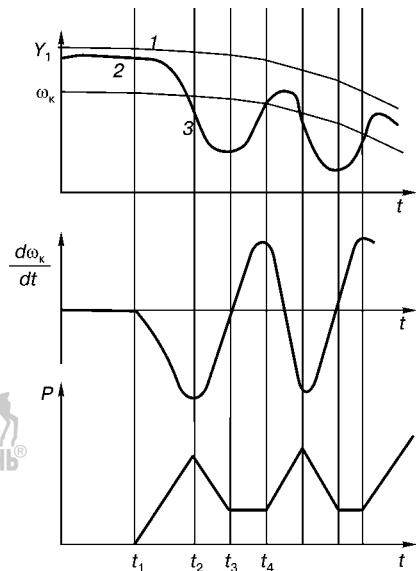


Рис. 11.28
Изменение скорости v_a , w и dw/dt
и давления P при работе
антиблокировочной системы:

1 — частота вращения колеса, пропорциональная скорости автомобиля; 2 — частота вращения колеса при «идеальном» режиме торможения; 3 — фактическая частота вращения колеса.

Тормозная система обладает определенной инерционностью, поэтому замедление колеса несколько отстает по времени от падения давления в тормозной камере. Поэтому к моменту, когда прекращается замедление колеса, давление в тормозной камере успевает снизиться в большей степени, чем это было необходимо в случае высокого быстродействия тормозной системы, и в период действия фазы «отсечка» будет иметь место разгон колеса. Когда в процессе разгона при $t = t_4$ ускорение колеса и, следовательно, производная $d\omega_k/dt$ достигнут максимума, это будет означать, что сцепление колеса с дорогой восстановилось, в связи с чем следует увеличить тормозной момент. Тогда система управления подает команду к переходу от фазы «отсечка» к фазе «увеличение давления». После этого весь описанный процесс работы системы будет многократно повторяться, причем сигнал, определяющий частоту вращения колеса, в каждом новом цикле будет сравниваться с откорректированным для этого цикла опорным сигналом.

В случае реализации «идеального» управления процессом торможения, во время которого поддерживалась бы постоянной величина $S = S_{kp}$, характер изменения частоты вращения соответствовал бы кривой 2. Чем меньше отличаются кривые 2 и 3, тем совершеннее работа АБС.

Основным элементом АБС является задатчик опорного уровня скорости, с которым сопоставляется фактическая частота вращения колеса. Он выполняет функции элемента памяти. В зависимости от сигналов, поступающих через резисторы $R1-R4$ (см. рис. 11.27) на его входы, устройство работает в одном из трех режимов, указанных в табл. 11.5.

Приведенное в табл. 11.5 соотношение между $U_{\text{пчи}}$ на выходе ПЧН и $U_{\text{зд}}$ на выходе задатчика, а также темп изменения $U_{\text{зд}}$ в режиме слежения исключают возможность уменьшения $U_{\text{пчи}}$ ниже значения $U_{\text{зд}}$ в процессе торможения автомобиля, происходящего без блокировки колес даже при максимально возможной его эффективности (замедление до 5 м/с^2). Однако если в процессе торможения автомобиля появится тенденция к блокировке колеса, то частота его вращения резко уменьшится и задатчик не успеет отследить изменение $U_{\text{пчи}}$. Тогда будет иметь место соотношение $U_{\text{зд}} > U_{\text{пчи}}$. Вследствие этого в момент времени t_2 напряжение, подводимое от выхода 4 задатчика к неинвертирующему входу 1 компаратора скорости, окажется выше напряжения, подводимого к его инвертирующему входу 2 от выхода ПЧН. В результате на выходе 3 компаратора скорости и, следовательно, на выходе 6 задатчика появится напряжение высокого уровня, под действием кото-

Таблица 11.5

Характеристики работы задатчика

Состояние затормаживающего колеса	Режим работы задатчика	Напряжение на входах А и Б задатчика		$U_{\text{зд}}$	Скорость изменения напряжения на входе задатчика $dU_{\text{зд}}/dt$, В/с
		U_A	U_B		
Не блокируется	Слежение	H	H	$0,7U_{\text{пчи}}$	< 3,5
Замедление	Память		B	Постоянное, равное $U_{\text{зд}0}$	> 3,5
Разгон	Перезапись	B	H	$0,7U_{\text{пчи}}$	Любая

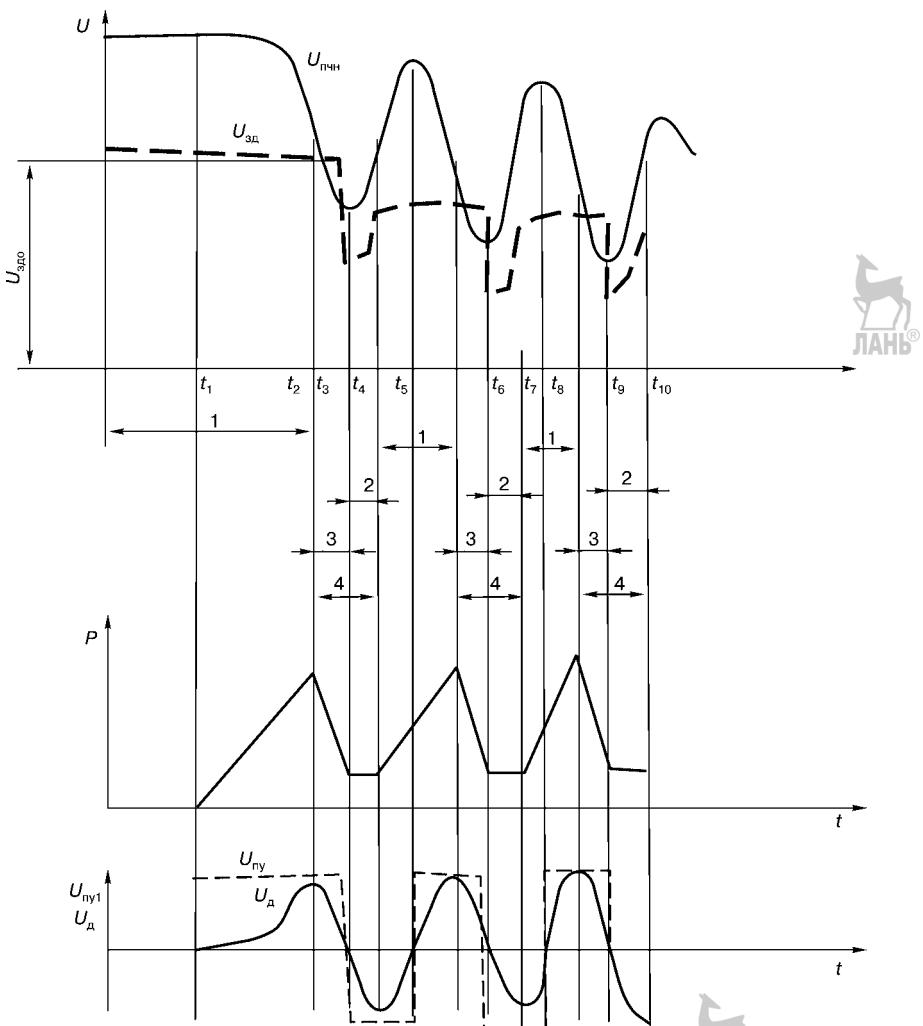


Рис. 11.29
Изменение давления в тормозной камере и электрических сигналов элементов антиблокировочной системы в процессе торможения автомобиля

рого задатчик перейдет в режим памяти. При этом напряжение на выходе задатчика установится равным значению $U_{зд0}$, которое на рис. 11.29 соответствует времени t_z .

После появления напряжения высокого уровня на выходе 3 компаратора скорости через усилители Y_{cb} и Y_{otc} (см. рис. 11.27) вырабатывается команда включения электромагнитов \mathcal{EM}_{cb} и \mathcal{EM}_{otc} управления модуляторами, осуществляющими сброс давления и «отсечку». Из-за снижения при этом давления P в тормозной камере (рис. 11.29) уменьшится замедление колеса и, как следствие, снизится уровень положительного напряжения U_d на выходе дифференциатора. Когда замедление колеса прекратится и начнется его

разгон, U_d изменит свой знак, т. е. станет отрицательным, и будет приведен в действие элемент \mathcal{E}_{max} обнаружения максимума ускорения (см. рис. 11.27). Этот элемент выполнен таким образом, что напряжение на его выходе имеет высокий уровень только при одновременном соблюдении двух условий:

- напряжение на входе должно быть отрицательным;
- уровень отрицательного напряжения на сигнальном входе 1 элемента должен не меняться или возрастать. В случае же его уменьшения напряжение на выходе 4 элемента падает.

Для четкой фиксации момента изменения полярности напряжения на выходе дифференциатора используется пороговое устройство дифференциатора, которое преобразует плавно изменяющееся выходное напряжение дифференциатора в сигнал ЦПУ прямоугольной формы (см. рис. 11.29, штриховая линия). Данный сигнал подводится к блокирующему входу 2 обнаружения максимума (см. рис. 11.27), благодаря чему высокий уровень напряжения на выходе 4 этого элемента появится только в периоды, когда напряжение на выходе порогового устройства имеет отрицательную полярность, т. е. в периоды разгона колеса.

Соединение сигнального входа 1 элемента обнаружения максимума с выходом дифференциатора обеспечивает получение напряжения высокого уровня на выходе элемента только в периоды, когда имеет место увеличение ускорения колеса. На рис. 11.28 этот период соответствует интервалу времени, ограниченному точками t_3 и t_4 , а на рис. 11.29 — участкам, ограниченным точками t_3-t_4 , t_6-t_7 , t_9-t_{10} .

За счет соединения выхода элемента обнаружения максимума с входом A задатчика (см. 11.27) одновременно с появлением высокого уровня напряжения на выходе 4 элемента такое же напряжение подводится к входу A задатчика. Вследствие этого задатчик переводится в режим «перепись». Кроме того, благодаря соединению выхода элемента обнаружения максимума с инвертируемым входом 2 компаратора скорости обеспечивается перевод этого компаратора в режим с низким уровнем выходного напряжения. Последнее обстоятельство приводит к выключению усилителя U_{cb} электромагнита \mathcal{EM}_{cb} модулятора, управляющего выпуском воздуха из тормозной сервокамеры, т. е. прекращению «броса» давления. Но \mathcal{EM}_{otc} модулятора «отсечки» при этом продолжает оставаться включенным, поскольку к входу его усилителя подводится напряжение высокого уровня от выхода элемента обнаружения максимума.

Отключение \mathcal{EM}_{otc} модулятора «отсечки» от источника питания происходит лишь после того, как вследствие уменьшения ускорения колеса (точки t_4 , t_7 , t_{10}) U_d на выходе дифференциатора начинает уменьшаться (см. рис. 11.29), что приводит к уменьшению до нуля напряжения на выходе элемента обнаружения максимума.

Далее весь цикл регулирования давления в тормозной системе многократно повторяется.

Опорным сигналом для системы управления является напряжение U_{zd0} , фиксируемое на выходе задатчика в периоды «памяти». В каждом новом цикле работы системы уровень запоминаемого U_{zd0} уменьшается по сравне-

нию с его уровнем в предшествующем цикле. Иными словами, «опорный» сигнал, фиксируемый в точках t_2 , t_5 , U , все время изменяется соответственно скорости движения автомобиля, что и требуется для функционирования системы управления.

Если в процессе торможения автомобиля на скользкой дороге имеет место особо интенсивное снижение частоты вращения колеса, это вызывает соответствующее увеличение напряжения положительной полярности на выходе дифференциатора. Подключение выхода дифференциатора к неинвертирующему входу 1 компаратора скорости приводит к повышению уровня напряжения на данном входе компаратора, вследствие чего напряжение высокого уровня на его выходе появляется раньше, чем из-за замедления колеса напряжение на выходе ПЧН снизится до 70% его первоначальной величины. Благодаря этому сигнал на «сброс» давления будет выдан с опережением, что и требуется для повышения эффективности действия АБС.

Выход компаратора скорости соединен с входом 3 элемента обнаружения максимума (см. рис. 11.27). Особенность этой связи заключается в том, что при наличии напряжения на входе 3 приводится в действие его блок запоминания данного напряжения, которое является разрешающим для действия элемента. Это запоминание является относительно продолжительным, поэтому для создания возможности появления напряжения высокого уровня на выходе элемента обнаружения максимума (при наличии соответствующего уровня напряжения на его сигнальном входе 1) необходимо, чтобы периодически к входу 3 подводилось напряжение от выхода компаратора скорости. Данное условие окажется выполненным при торможении автомобиля на скользкой дороге, когда вследствие резкого уменьшения частоты вращения колес произойдет включение компаратора скорости с появлением на его выходе напряжения высокого уровня (в периоды «памяти»).

По-иному действует система управления в случае, например, движения автомобиля на спуске с увеличением его скорости. При этом водитель может начать подтормаживать автомобиль путем включения тормозов.

В процессе разгона автомобиля дифференциатор вырабатывает напряжение отрицательной полярности, что является сигналом для включения элемента обнаружения максимума. Если при этом не предотвратить включение данного элемента, то будет реализован режим «отсечка», т. е. самопроизвольно прекратится торможение автомобиля, что совершенно недопустимо. Такое действие АБС, однако, оказывается невозможным, поскольку в процессе разгона автомобиля $U_{\text{пчн}} > U_{\text{зд}}$, т. е. компаратор скорости не сработает и вследствие этого напряжение к разрешающему входу 3 элемента обнаружения максимума не подводится.

Очень важным элементом АБС является блок контроля ее исправности. В его задачу входит автоматическое выключение электромагнитов модульаторов сброса и отсечки при появлении неисправности в системе управления. Одновременно должна быть приведена в действие сигнализация, оповещающая водителя о наличии неисправности в АБС.

На входы блока контроля подается напряжение от выходов ПЧН и задатчика. Сигналом неисправности АБС является нарушение нормального соотношения между $U_{\text{пчн}}$ и $U_{\text{зд}}$ в течение периода времени более 1 с. В этом случае на выходе блока контроля, во-первых, вырабатываются команды выключения усилителей управления модуляторами «сброса» и «отсечки» и, во-вторых, подается команда на включение сигнализатора отказа АБС (например, аварийной лампы).

В последнее время появилось большое число сообщений о создании и серийном производстве различных антиблокировочных тормозных систем на базе микропроцессорных комплектов. Такой путь является вполне оправданным, поскольку применение микропроцессоров позволяет наилучшим образом осуществлять оптимальное управление тормозами с учетом большого числа факторов, влияющих на процесс торможения автомобилей. Можно только отметить, что микропроцессорные АБС из-за относительно высокой их стоимости в основном применяются на большегрузных автомобилях и тягачах. В качестве примера можно указать на микропроцессорную АБС, которой оборудуются трехосные полуприцепы большой грузоподъемности с пневмоприводом тормозных механизмов. Она содержит два канала управления тормозными механизмами: один используется для регулирования давления $P_{1,2}$ в тормозных камерах первой и второй осей, а другой осуществляют регулирование давления P_3 в камере третьей оси.

Сравнение характеристик изменения угловой скорости колес $w_{k1,2}$ и w_{k3} первых, вторых и третьей осей и скорости автомобиля v_a (рис. 11.30) показывает, что применение АБС обеспечивает незначительное расхождение между ними в процессе торможения, что свидетельствует об эффективности действия АБС.

У автомобилей с АБС при выходе из строя тормозных систем сохраняется обычный привод тормозных механизмов. Опыт эксплуатации показал, что при наличии такой системы у водителя вырабатываются новые навыки управления процессом торможения. Поэтому в случае внезапного отказа АБС водитель может не обеспечить необходимую эффективность торможения авто-

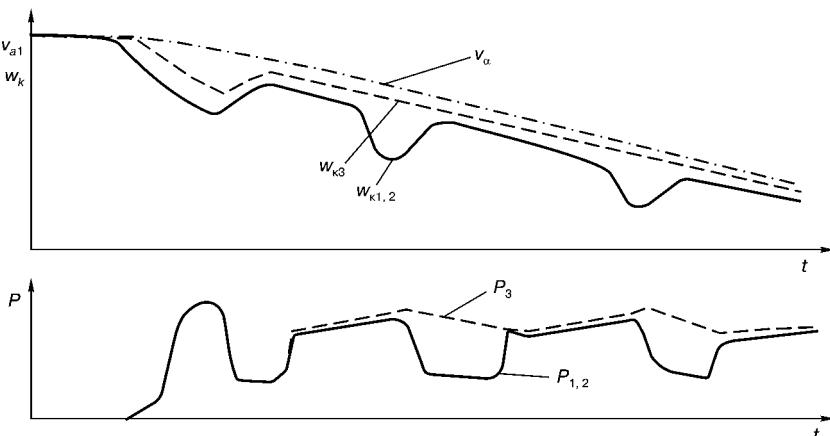


Рис. 11.30

Изменение угловой скорости $w_{k1,2}$ и w_{k3} , скорости v_a , давлений $P_{1,2}$ и P_3

мобиля. Вследствие этого к надежности АБС, и в том числе к надежности электронного блока, предъявляют особо жесткие требования. Достигают этого как аппаратурным обеспечением, так и применением специальных помехоустойчивых программ. Данные решения частично напоминают схемотехнику элементов защиты от неправильного функционирования микропроцессорных систем управления ГМП.

11.4. НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ

Первые навигационные системы применялись только для индикации расчетного времени прибытия в пункт назначения и расстояния до него (на основании данных датчиков азимута и скорости вращения колес). Позднее начали использоваться базы данных с картографической информацией, появилась возможность определять текущие координаты автомобиля на карте местности.

Механические прототипы навигационных систем появились в США в 1910 г., когда автомобили начали производиться в больших количествах, а дороги еще не были размечены. Например, в навигационной системе Chadwick Road Guide металлический диск с отверстиями вращался синхронно с пройденным путем. Отверстия отмечали перекрестки на маршруте. К дорожкам на диске пружинами прижимались специальные молоточки. При попадании молоточка в отверстие устройство издавало звук и специальный рычажок с кодированным символом указывал водителю, какое необходимо выполнить действие. Точность и надежность таких навигационных систем были низкими, их перестали использовать после стандартизации дорожных знаков в 1920-х гг. и введения разметки дорог.

В 1960-х гг. автомобильные компании вновь начали проявлять интерес к навигационным системам. В 1987 г. Toyota начала устанавливать их на серийные модели как опцию.

11.4.1. ФУНКЦИИ, СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Навигационная система (см. рис. 11.31) может осуществлять навигационное счисление, определять положение автомобиля на карте местности по конфигурации пройденного пути, определять абсолютные координаты с помощью спутниковой системы GPS (Global Positioning System — глобальная позиционирующая система).

С помощью навигационного счисления определяют относительное положение автомобиля и направление движения по информации, полученной с датчиков азимута и скорости вращения колес. Конфигурация участка пройденного пути, полученная с помощью навигационного счисления, сравнивается с конфигурацией нанесенных на карту дорог. Определив дорогу, по которой движется автомобиль, система находит и его текущие координаты. Более точное определение координат автомобиля на карте производится по широте и долготе с помощью GPS. Считается, что для практических целей достаточно знать координаты автомобиля с точностью до размера половины квартала, т. е. ± 100 м.

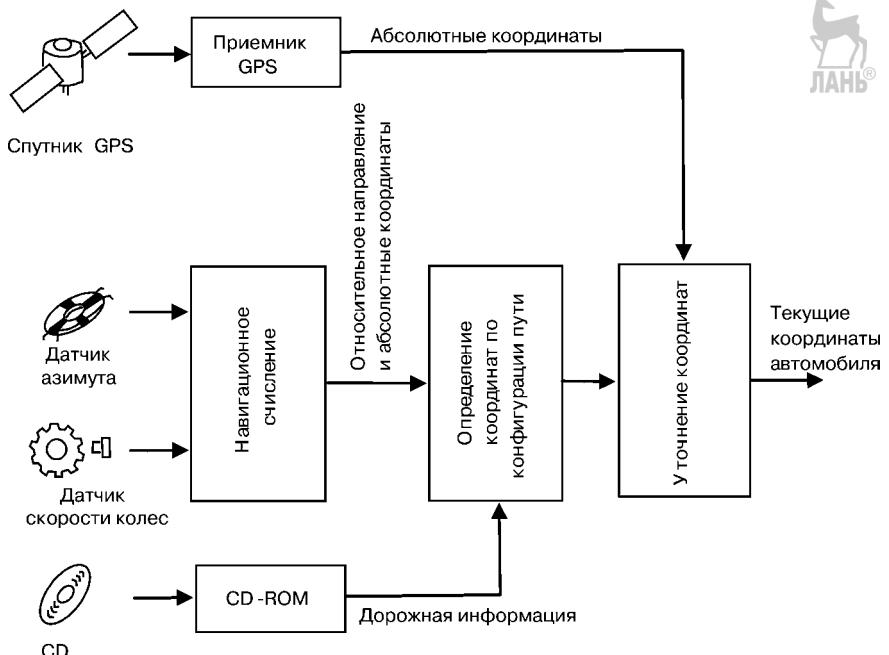


Рис. 11.31
Структура навигационной системы

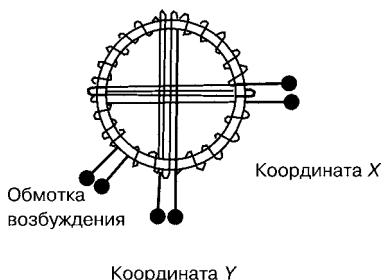


Рис. 11.32
Геомагнитный датчик азимута

Автомобильная навигационная система должна иметь в своем составе датчики пройденного пути и направления движения.

Датчик пройденного пути — это та или иная конструкция электронного одометра, информация в который поступает с датчиков скорости вращения колес ABS. Одометрам присущ ряд систематических погрешностей, которые необходимо корректировать, а именно:

- разница в диаметрах новой и изношенной покрышки дает погрешность в определении пройденной дистанции до 3%;

- за счет увеличения диаметра покрышки от центробежной силы на каждые 40 км/ч скорости автомобиля погрешность в определении пройденной дистанции увеличивается на 0,1–0,7%;
- изменение давления в шинах на 689 кПа (10 psi) увеличивает погрешность на 0,25–1,1%.

Направление движения автомобиля обычно определяют с помощью датчика азимута, датчика скорости вращения колес, гироскопов.

Датчик азимута (компас) использует магнитное поле Земли и представляет собой кольцевой сердечник из ферромагнетика, на который намотаны обмотка возбуждения и перпендикулярно друг другу две выходные обмотки (рис. 11.32).

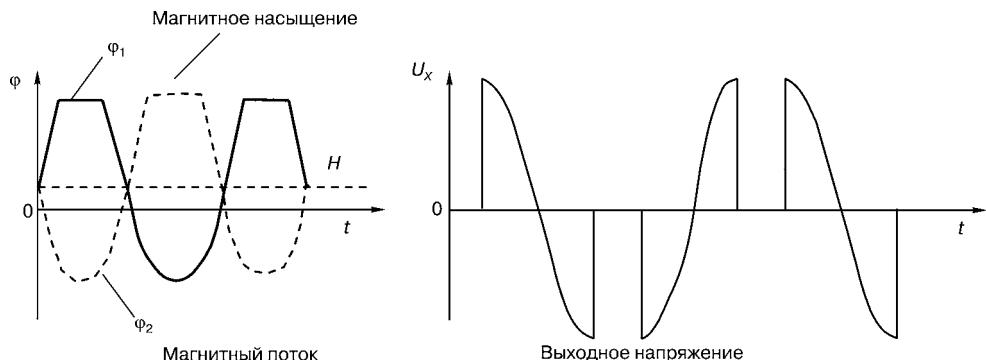


Рис. 11.33
Электромагнитные процессы в геомагнитном датчике азимута
в присутствии внешнего магнитного поля H

К обмотке возбуждения приложено синусоидальное напряжение. При отсутствии внешнего магнитного поля в выходных обмотках наводится ЭДС взаимоиндукции, а также синусоидальная, с нулевым средним значением. При наличии постоянного внешнего магнитного поля напряженностью H (магнитное поле Земли) происходит искажение синусоидальной формы магнитного потока в сердечнике за счет наложения постоянной составляющей и напряжений выходных обмоток (рис. 11.33).

Если внешнее магнитное поле направлено под углом θ к обмотке X , то средние значения напряжений в выходных обмотках определяются так:

$$U_X = kH\cos\theta, U_Y = kH\sin\theta,$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Отсюда

$$\theta = \arctg\left(\frac{U_Y}{U_X}\right),$$

т. е. направление движения автомобиля определено.

Современные датчики азимута выпускаются в интегральном исполнении.

Датчики скорости вращения колес. Используются датчики скорости вращения передних колес, применяемые и для ABS. Угол поворота автомобиля определяется по разности путей, проходимых при повороте левым и правым колесами. Когда автомобиль поворачивается на угол θ радиан с радиусом поворота R , пути, пройденные левым и правым колесами, описывают дуги с общим центром (см. рис. 11.34).

Пути, пройденные левым и правым передними колесами, различны и составляют $L_1 = R_1\theta$ и $L_0 = R_0\theta$. Радиусы этих дуг имеют общий центр и определяются как

$$R_1 = \sqrt{R^2 + L^2}, \quad R_0 = \sqrt{(R + K)^2 + L^2},$$

где L — колесная база; K — ширина колеи.

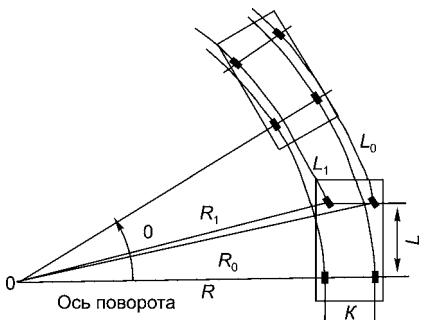


Рис. 11.34
Пути, проходимые правым и левым колесами при повороте

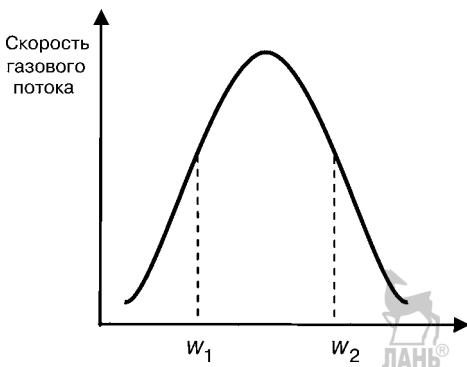


Рис. 11.35
Распределение скоростей в потоке газа

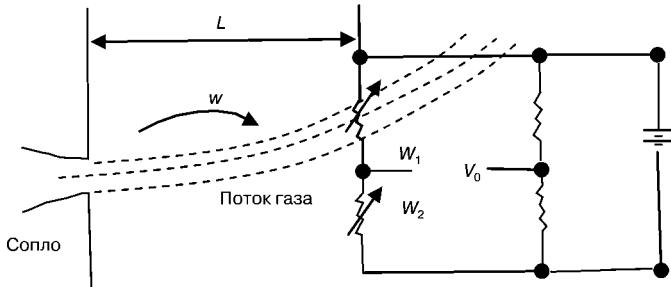


Рис. 11.36
Измерительная схема:
ω — угловая скорость автомобиля; W_1 — число витков проволочки 1 (плечо 1) мостовой схемы; W_2 — число витков проволочки 2 (плечо 2) мостовой схемы; L — расстояние от сопла для потока газов до плеч мостовой схемы; V_0 — измеренное напряжение мостовой схемы.

Введем P — отношение между протяженностями путей колес на повороте:

$$R_0 = \frac{L_0}{L_1} = \frac{\sqrt{(R+K)^2 + L^2}}{\sqrt{R^2 + L^2}}.$$

Преобразуем это уравнение:

$$R = \frac{K + \sqrt{K^2 - (P^2 + 1)[(P^2 - 1)L^2 - K^2]}}{P^2 - 1}.$$

Колесная база и ширина колеи известны для данного автомобиля, пути правого и левого колес замеряют с помощью датчиков скорости вращения колес. Тогда угол поворота θ вычисляется по формуле

$$\theta = \frac{L_1}{R_1} = \frac{L_1}{\sqrt{R^2 + L^2}}.$$

Сложив все поворотные углы, можно определить и угол поворота автомобиля для заданного пути от стартовой точки:

$$\theta_n = \sum_{i=1}^n \theta_i.$$

Гирокомпьютер. При использовании гирокомпьютера определяется угловая скорость автомобиля на повороте, которая интегрируется для определения угла пово-





рота. В навигационных системах используются различные типы гироскопов. Так, газовый работает следующим образом. Насос создает поток гелия с заданной скоростью истечения и направляет его через сопло на две нагретые проволочки датчика. Угловая скорость автомобиля определяется по изменению сопротивлений проволочек датчика. Когда поток гелия выходит из сопла насоса, он постепенно расширяется. Распределение скоростей в потоке газа по сечению возле проволочек показано на рис. 11.35.

Когда автомобиль движется прямо, распределение скоростей симметрично относительно проволочек, они охлаждаются одинаково и на выходе мостовой схемы, частью которой являются проволочки, имеет место нулевое напряжение (рис. 11.36).

При повороте возникает сила Кориолиса, смещающая газовый поток, проволочки охлаждаются неравномерно, их сопротивления электрическому току различны, на выходе мостовой схемы появляется напряжение, пропорциональное угловой скорости автомобиля на повороте.

11.4.2. НАВИГАЦИОННОЕ СЧИСЛЕНИЕ

Навигационное счисление — это метод определения координат движущегося объекта (автомобиля, самолета, судна и т. д.) по отношению к стартовой точке. Используется сумма векторов пройденных расстояний, информация о направлениях поступает с датчика азимута или датчика скорости вращения колес. На рис. 11.37 показано его применение.

Расстояние от стартовой точки (X_0, Y_0) определяется по следующей системе уравнений:

$$X_n = X_0 + \sum_{i=1}^n \Delta l \sin \theta_i, \quad Y_n = Y_0 + \sum_{i=1}^n \Delta l \cos \theta_i,$$

где ось X обозначает направление «восток — запад», а ось Y — «север — юг».

Таким образом, текущие координаты автомобиля могут быть определены, если известно положение стартовой точки на карте.

Направление движения автомобиля обычно устанавливается по геомагнитному датчику азимута (компасу). Корпус автомобиля выполнен из металла и других магнитных материалов и способен намагничиваться внешними полями (например, в магнитном поле, создаваемом электродвигателями электровозов на железнодорожном переезде, и т. д.). В этом случае возникает систематическая погрешность в определении направления движения автомобиля. Паразитное магнитное поле компенсируется дополнительными магнитами вблизи компаса.

Магнитное поле также искажается в тоннелях, на металлических мостах, при движении вдоль автопоездов. Применение датчиков скорости вращения колес наряду с компасом часто решает эту проблему.

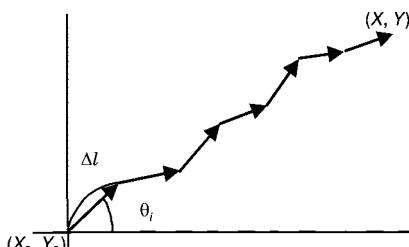


Рис. 11.37
Определение координат автомобиля методом навигационного счисления

Датчики скорости вращения колес не чувствительны к таким искажениям, на практике датчики азимута и скорости вращения колес дополняют друг друга при определении направления движения автомобиля.

Навигационное счисление дает низкую точность определения текущих координат объекта. Для автомобиля приходится корректировать координаты, определенные методом навигационного счисления каждые 10–15 км.

11.4.3. ЭЛЕКТРОННЫЕ КАРТЫ

В некоторых навигационных системах картографическая информация хранится централизованно и передается на автомобиль по радиоканалу, но в большинстве случаев навигационная система предполагает наличие необходимой базы данных на борту автомобиля. CD-ROM используется для хранения картографической и дорожной информации с целью сравнения конфигураций дорог и пройденного пути, поиска оптимального маршрута, вывода карты местности на дисплей. Значительная часть CD (до 600 Мб) позволяет это делать.

Картографическая информация или электронные карты существуют в двух основных форматах: матричном и векторном.

В матричном формате каждому элементу карты (пикселию) соответствуют свои значения декартовых координат $X - Y$. Такие карты требуют много места в памяти компьютера или на носителе информации и неудобны для математических операций при прокладке и сложении за маршрутом.

В векторном формате дороги улицы представляются последовательностями отрезков прямых, описанных аналитически, пересечения — узлами (рис. 11.38).

Узлы идентифицируют координатами — долготой и широтой. Если дорога (улица) не прямая, в точке излома также помещается узел. Таким образом, дороги (улицы) любой конфигурации аппроксимируются набором векторов и узлов.

Имеющиеся карты или изображения местности, полученные с самолетов и спутников, сканируются. Затем специальное программное обеспечение трансформирует изображение сначала в матричный, а затем в векторный формат.

Электронная карта несет такую информацию, как номера дорог, названия улиц, номера домов между перекрестками, одностороннее или двухстороннее движение на улице, названия отелей, ресторанов и т. д.

Ориентирование на карте местности по конфигурации пройденного пути позволяет определить или уточнить координаты автомобиля сравнением конфигурации пройденного пути (его участка), полученного навигационным счислением, с конфигурацией дороги, по которой движется автомобиль. Сначала навигационная система определяет, какие из ближайших дорог могут соответствовать координатам автомобиля, определенным навигационным счислением. Затем делается сравнение, как показано на рис. 11.39.

Выбирается наиболее подходящая дорога и корректируются координаты автомобиля по карте. Когда автомобиль достигает перекрестка, выбор дороги определяется направлением движения (рис. 11.40).

Если дороги на перекрестке выглядят примерно одинаково, как на рисунке, навигационный компьютер прослеживает их по карте вперед и опре-

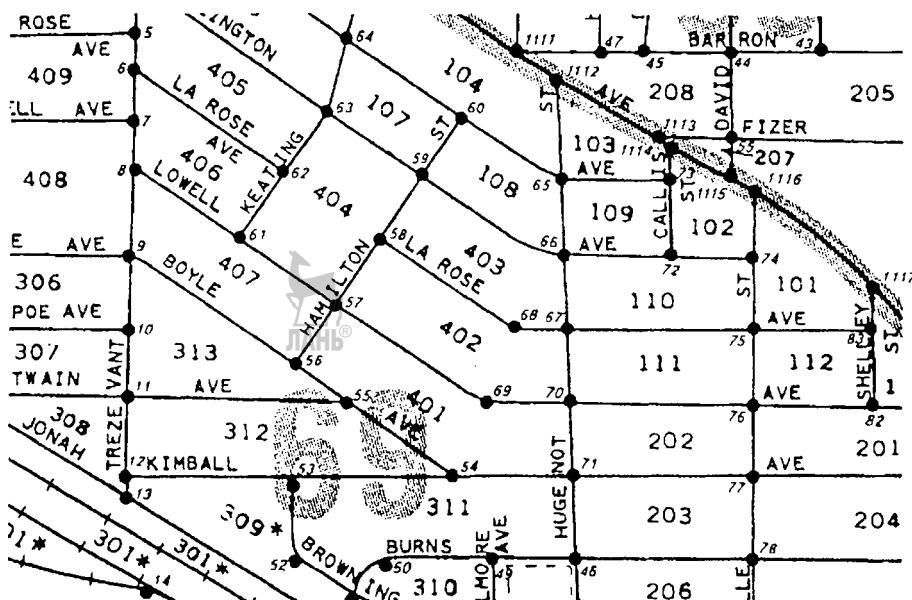


Рис. 11.38
Улицы и узлы на векторной карте

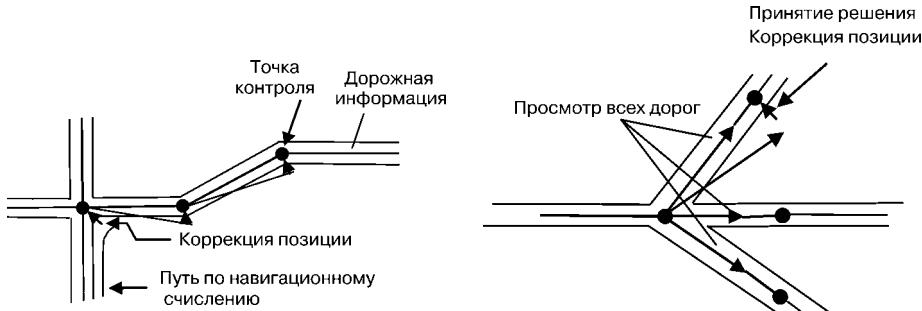


Рис. 11.39
Корректировка пути

Рис. 11.40
Выбор пути на пересечении дорог

делает коэффициент корреляции для каждой по отношению к требуемому маршруту. Выбирается дорога с наибольшим коэффициентом корреляции.

Выбор оптимального маршрута. Кроме определения текущих координат автомобиля навигационная система также может выдавать информацию, облегчающую выбор оптимального пути следования к месту назначения. Навигационный компьютер рассматривает дорожную сеть между исходным пунктом и пунктом назначения и выбирает кратчайший маршрут. Примером метода определения кратчайшего пути по карте является алгоритм Дейкстры: производится определение всех пересечений дорог от стартовой точки и вычисляются кратчайшие пути до каждой точки пересечения. Например, если имеется дорожная сеть, как на рис. 11.41а, поиск пересечений начнется от начальной точки *A*, как показано на рис. 11.41б.

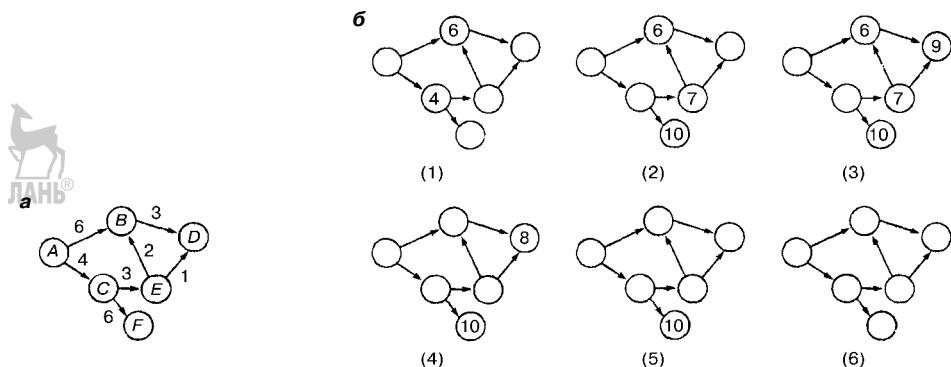


Рис. 11.41
Алгоритм Дейкстры

Сначала будут рассмотрены пересечения *B* и *C*. Расстояния от точки *A* до каждого из пересечений указаны внутри кружочков. Затем рассматриваются пересечения *E* и *F*, соединяющиеся с точкой *C*, для этих пересечений указано расстояние от стартовой точки *A* (рис. 11.41б (2)). В-третьих, рассматриваются пересечения *D* и *E*, соединенные с точкой *B*, на рис. 11.41б (3) указаны расстояния от стартовой точки *A* до *D* и *E*. При этом расстояние до точки *E* указано через *C*, так как оно меньше, чем через *D* (было бы 8). Точка *D* связана с точкой *E*, и маршрут через нее оказывается короче, это отражено на рис. 11.41б (4). Кратчайшим путем до *D* оказывается маршрут *A* – *C* – *E* – *D*. Таким образом, для дорожной сети можно определить кратчайший маршрут до любого из пересечений (жирные линии на рис. 11.41б (6)).

Навигационная информация сообщается водителю различными способами: от указания символов положения на карте местности до голосовых команд через синтезатор речи о необходимости повернуть налево или направо.

11.4.4. СПУТНИКОВАЯ ПОЗИЦИОНИРУЮЩАЯ СИСТЕМА GPS

Система GPS (рис. 11.42) может использоваться для определения абсолютных координат автомобиля.

Она состоит из 18 основных и 3 запасных спутников на околоземных орбитах (радиус — 20 183 км, период обращения — 12 ч), запущенных Министерством обороны США в период с 1980 по 1992 г. (программа NAVSTAR), и предназначена поставлять информацию об абсолютных координатах различным объектам: морским судам, самолетам, ракетам, воинским подразделениям, автомобилям и т. д. На спутниках установлены атомные часы, периодически на Землю посылаются сигналы с информацией о системном времени и параметрах орбиты на частоте 1,57542 ГГц.

Пользователи обслуживаются системой GPS по двум категориям: точное определение координат (Precise Position Service — PPS) — для военных и стандартная точность определения координат (Standard Position Service — SPS) — для остальных категорий пользователей, в том числе и для автомобильной навигации. Теоретически достижима точность определения коор-

динат с ошибкой до 100 м, на практике координаты определяются с большей точностью — до 30 м.

Координаты приемника (X, Y, Z) и спутника (U_i, V_i, W_i) связаны соотношением

$$P_i = \sqrt{(X - U_i)^2 + (Y - V_i)^2 + (Z - W_i)^2} + R,$$

где P_i — расстояние между спутником и приемником; R — временная ошибка, возникающая из-за невозможности точно синхронизировать атомные часы спутника и кварцевый генератор приемника.

Таким образом, при известных координатах четырех спутников (рис. 11.43) и расстояниях от спутников до

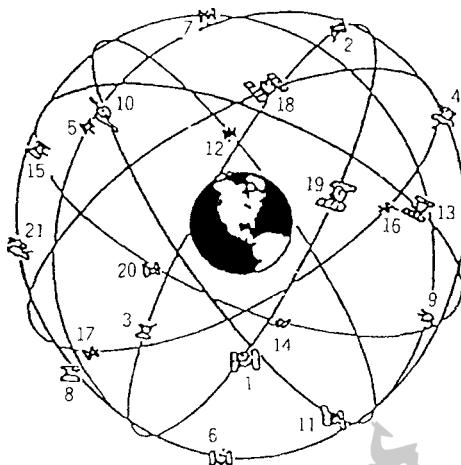


Рис. 11.42
Спутниковая система NAVSTAR

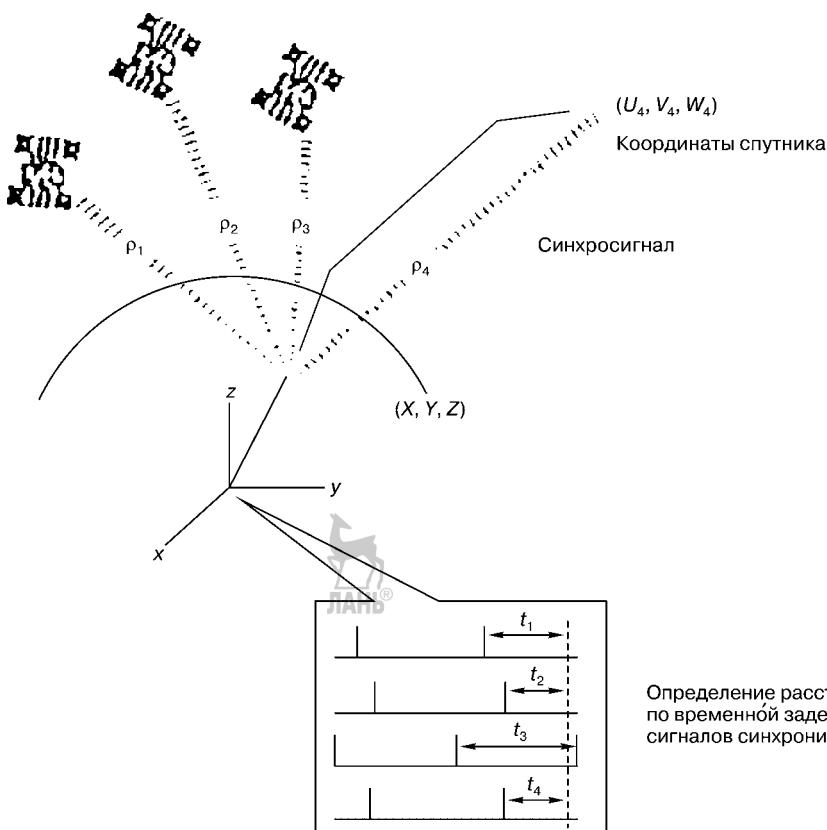


Рис. 11.43
Определение координат с помощью GPS

приемника из решения четырехмерного нелинейного уравнения определяются координаты приемника.

Координаты спутника определяются по решению уравнения Кеплера, для чего и передается информация о системном времени.

Расстояние между спутником и приемником определяется по времени задержки прихода синхронизирующего сигнала со спутника (скорость распространения радиоволн — постоянная величина).

Полагают, что навигация с помощью GPS является наиболее перспективной, но у нее есть и недостатки:

- при первом обращении начальные координаты определяются относительно долго — 2–3 мин, но затем информация обновляется гораздо быстрее — в течение нескольких секунд;
- система работает в условиях прямой видимости с 4 спутниками, горы и высокие здания могут служить препятствием.

11.4.5. ПРИМЕРЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В середине 1980-х гг. была выпущена первая серийная автомобильная навигационная система Etak Navigator. В ней использовались электронные векторные карты дорог на дисках емкостью 3,5 Мб, навигационное счисление, алгоритм ориентирования на карте по конфигурации пройденного пути, дисплей; в качестве датчиков — дифференциальный одометр и компас.

Система Travepilot (второе поколение системы Navigator) была выпущена совместно Etak Inc. и Bosch GmbH в 1989 г. Картографическая информация хранилась на CD-ROM, что позволяло иметь на одном диске карты нескольких стран. Интерфейс Travepilot стал своеобразным стандартом для последующих моделей автомобильных навигационных систем. Положение и направление движения автомобиля по отношению к карте изображалось стрелкой в центре нижней части дисплея. При движении автомобиля меняется ориентация карты на дисплее и водителю легче увязывать с картой то, что он видит через ветровое стекло.

В правой части карты указан масштаб. Он может быть от 1/8 мили для просмотра деталей улиц до 30 миль, когда видны только крупные дороги. Во время парковки водитель, используя программируемые кнопки, мог вводить и получать от Travepilot различную информацию. Например, можно внести данные о цели поездки в виде названия улицы, номера дома и т. д. Travepilot выделяет такую цель мерцающими звездочками на дисплее, указывает расстояние до цели и направление на нее от текущего положения автомобиля в верхней строке дисплея. Если задан номер дома, выделяется участок улицы, где он находится. Подменю позволяют водителю производить вручную корректировку положения автомобиля на карте. Это происходит не чаще одного раза на 1000 миль пути из-за ошибок в картах и алгоритма определения положения автомобиля по конфигурации пройденного пути и т. д.

Travepilot был выполнен на процессоре V50, имел 0,5 Мб DRAM, 64 Кб EPROM, 8 Кб неотключаемой памяти для хранения информации о текущем

положении автомобиля, порт RS-232 и свободные слоты для подключения к другим устройствам, например радио. В системах Travelpilot на 400 пожарных автомобилях и скорой помощи Лос-Анджелеса диспетчеры по радио вводили экипажам координаты пунктов назначения.

Прототипы навигационной системы Zexel NavMate испытывались еще в 1990 г. Ориентирование производилось по пройденному пути, навигационному счислению и электронным картам. В 1994 г. в NavMate встроили приемник GPS. Комбинированное использование навигационного счисления, электронной карты, ориентирования по конфигурации пройденного пути обеспечивает точность определения позиции автомобиля ± 30 м (только GPS дает точность ± 10 м).

Система NavMate под другими названиями (TetraStar, NeverLost, GuideStar) выпускалась различными производителями (GM, Ford, Siemens Automotive) и устанавливалась в качестве опции как на автомобили от производителя, так и в автопарках фирм, представляющих автомобили в аренду (Avis Rent a Car, Hertz).

Картографическая информация (по США) для NavMate хранится на девяти PS-картах и включает сведения о дорогах, улицах, номерах домов, интересных местах, магазинах, больницах и т. д. Цель поездки задается как адрес на улице, перекресток, объект интереса. Может быть введено условие для прокладки маршрута, например исключение скоростных трасс. Информация водителю выводится на 4-дюймовый цветной жидкокристаллический

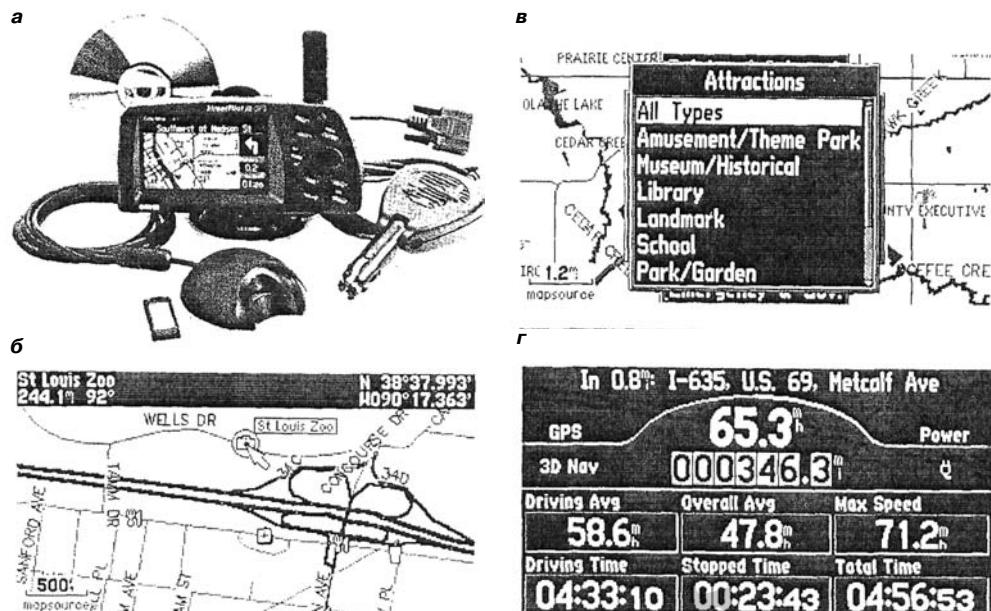


Рис. 11.44
Автомобильная навигационная система Garmin StreetPilot III:

а — общий вид системы; б — экран в навигационном режиме; в — режим выбора пункта назначения; г — экран в режиме маршрутного компьютера.



дисплей в виде карты и указывающих стрелок. Голосовая подсказка срабатывает при приближении к повороту.

В 1998 г. Zexel выпустил модернизированный вариант NavMate. Картографическая информация хранится на трех CD-ROM, пользователь может вносить нужные ему объекты в персональную адресную книгу.

Фирма Nissan Motor Co разработала навигационную систему Nissan Birdview с дружественным интерфейсом. В режиме по умолчанию на мониторе изображена местность, какой она видится наблюдателю, расположенному на высоте 300 м над автомобилем и с расстояния 400 м позади него. Водитель видит местность около и перед автомобилем с высоты птичьего полета (отсюда и Birdview) под углом 26° к горизонту, что оптимально для человека. Ширина переднего плана — 500 м, задний план на горизонте находится примерно в 7 км и имеет ширину 12 км. Возможен просмотр изображения с высоты 600, 1200, 2400 и 4800 м. На монитор может быть выведено изображение местности и в обычном двумерном формате.

На рынке имеются относительно недорогие (менее 900 долл.) спутниковые автомобильные навигационные системы, например Garmin StreetPilot III, которые можно устанавливать в любом автомобиле на панели под лобовым стеклом.

Система Garmin StreetPilot III (см. рис. 11.44) имеет цветной дисплей размером 8,6×4,5 см разрешением 305×160 пикселей, голосовые подсказки, картографическая информация хранится на CD-ROM, погрешность определения координат — менее 15 м.

Устройство подключается к автомобильной бортсети 12 В или питается автономно от батареек. Естественно, приемник системы эффективно работает только в условиях прямой видимости достаточного количества спутников. Garmin StreetPilot III может работать и как маршрутный компьютер.

11.5. СИСТЕМЫ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ПРОТИВОУГОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Примерно 25% от общего числа преступлений так или иначе связаны с автомобилем. Большую часть случаев составляют кражи автомагнитол и оставленных в салоне вещей, угоны автомобилей подростками. В последнем случае из-за неопытности водителей нередко возникают дорожно-транспортные происшествия. Таким образом, системы охранной сигнализации и противоугонные устройства, предотвращающие несанкционированный доступ в салон автомобиля, нужны не только для борьбы с воровством, но и для обеспечения дорожной безопасности.

Большинство угонщиков автомобилей — хулиганствующие подростки, поэтому, согласно статистике, даже простейшие средства сигнализации значительно уменьшают риск угона. С другой стороны, никакие средства защиты не остановят квалифицированных специалистов-угонщиков, если они почему-либо решили угнать именно этот автомобиль. Эффективным оказывается применение скрытых радиомаяков, по которым полиция обнаруживает угнанный автомобиль примерно в 93% случаев.



11.5.1. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОТИВОУГОННЫЕ СИСТЕМЫ

Электронные противоугонные системы являются стандартным оборудованием на большинстве новых автомобилей и могут устанавливаться на выпущенных ранее. Противоугонные системы должны быть эффективными, надежными, устойчивыми к внешним воздействиям, например к радиопомехам, иметь длительный срок службы. Как правило, их цена коррелирована с предлагаемым уровнем защиты. Установка противоугонной системы не должна ухудшать безопасность автомобиля.

Противоугонные системы реализуют защиту автомобиля условно на трех уровнях.

Защита по периметру. Система периметрической защиты использует микровыключатели для контроля за открывающимися панелями автомобиля (двери, капот, багажник). При попытке несанкционированного открытия панели включаются звуковой и световой сигналы. Иногда система дополняется датчиками движения.

Защита по объему. Система с помощью инфракрасных, ультразвуковых или микроволновых датчиков обнаруживает несанкционированное движение в салоне автомобиля. Ультразвуковые датчики используют эффект Доплера, когда любое движение в салоне изменяет частоту сигнала ультразвукового излучателя (40 кГц), принимаемого приемником. Микроволновая радиосистема работает на том же принципе, но радиосигнал излучается на частоте 10 ГГц. Микроволновые датчики реже ложно реагируют на движение воздуха и часто устанавливаются в кабриолетах. Инфракрасные датчики представляют собой сборку «приемник — излучатель» и монтируются на потолке салона. Они создают невидимую инфракрасную завесу до пола салона. Приемник постоянно контролирует отраженный сигнал, и при его изменении (кто-то появился в салоне) включается сигнал тревоги.

Иммобилизация двигателя осуществляется специальным ЭБУ, запрещающим запуск двигателя при получении сигнала тревоги. Это может быть выполнено двумя способами: аппаратной и программной иммобилизацией.

Аппаратной иммобилизацией, при которой некоторые электрические цепи системы пуска двигателя разрываются специальными реле или полупроводниковыми переключателями. Эффективность аппаратных систем иммобилизации сильно зависит от скрытности размещения разрывающих реле и немаркированных проводов в жгуте. Скрытность нужна для того, чтобы нельзя было шунтировать создаваемые этими устройствами разрывы в цепи;

Программной иммобилизацией, когда по команде противоугонной системы ЭБУ двигателя запрещает его запуск, например делает недоступными калибровочные диаграммы подачи топлива и зажигания. После этого двигатель хотя и будет проворачиваться стартером, но не запустится. Такие системы очень эффективны, нужно только исключить возможность запуска путем замены ЭБУ двигателя на другой работоспособный блок.

Состав противоугонных устройств, входящих в стандартную комплектацию, зависит от модели автомобиля. Во всех случаях он комплектуется средствами периметрической защиты, многие противоугонные системы включают

иммобилизатор и защиту по объему. Обычно противоугонная система включается и выключается ключом замка двери или с дистанционного пульта, управляющего также и центральным замком. Запарковав автомобиль, водитель запирает двери и включает противоугонное устройство нажатием кнопки на дистанционном пульте управления (брелоке). Светодиодный индикатор включения противоугонной системы начинает вспыхивать: сначала часто, информируя водителя о включении системы, затем редко, отпугивая потенциальных угонщиков.

При попытке несанкционированного проникновения в автомобиль противоугонная система включает звуковой сигнал, периодически зажигает и гасит фары, иммобилизатор блокирует работу двигателя. Примерно через 30 с звуковые и световые сигналы прекращаются, чтобы не разрядить чрезмерно аккумулятор, иммобилизатор остается включенным до тех пор, пока владелец автомобиля не выключит его дверным ключом или с дистанционного пульта управления.

11.5.2. ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОТИВОУГОННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Система дистанционного управления позволяет управлять противоугонным устройством и центральным замком с некоторого расстояния. Она состоит из портативного передатчика, носимого водителем, и приемника, подключенного к ЭБУ противоугонного устройства и центральному замку.

Передатчик размещается в брелоке или в самом ключе. Для миниатюризации применяются многослойные печатные платы и бескорпусные микросхемы. Питание осуществляется от миниатюрных батареек (как для наручных часов).

Передатчики выполняются на базе специализированных микросхем HCS200, HCS201 (Microchip) или 8-разрядных микроконтроллеров, например MC68HC05K3 (Motorola). Второй вариант дороже, но есть возможность применять одно и то же оборудование в передатчиках с различными функциональными возможностями для различных систем дистанционного управления, отличающихся криптографическими алгоритмами, интерфейсом и т. д.

Противоугонная система включается и выключается передатчиком посылкой соответствующего цифрового кода. Код передается последовательно, используется инфракрасное излучение или радиосигнал в УКВ-диапазоне. Системы, использующие инфракрасное излучение, имеют малый радиус действия, требуют точного наведения луча передатчика, но не создают электромагнитных помех. УКВ-системы имеют большой радиус действия, но сигнал может быть перехвачен и декодирован угонщиками с помощью соответствующей электронной аппаратуры. УКВ-излучатели могут быть источниками электромагнитных помех, поэтому их параметры регламентируются соответствующими законодательствами. В большинстве европейских стран передатчики автомобильных противоугонных систем работают на частоте 433,9 МГц, во Франции — 224 МГц, в Австрии и Италии — 315 МГц, Великобритании — 418 МГц.

Передача сигналов кодовой информации в автомобильных противоугонных системах производится, как правило, в одном направлении из соображений удешевления оборудования. Брелоки и электромеханические ключи приемников не имеют, хотя двунаправленные сигналы значительно усложнили бы взлом противоугонных систем.

Для повышения секретности линий связи многие противоугонные системы используют набор кодов, т. е. при каждом нажатии кнопки передатчика посыпается свой код. Программное обеспечение приемника синхронизирует его работу с передатчиком, т. е. приемник ожидает смену кода. Обычно осуществляется циклический перебор кодов из заданного набора (например, из 25 различных кодов). Если приемник и передатчик вышли из синхронизации (например, водитель случайно нажал кнопку вдали от автомобиля), дистанционное управление работать не будет, но система автоматически синхронизируется при отпирании двери ключом.

ХАРАКТЕРИСТИКИ И РАБОТА ПРОТИВОУГОННЫХ СИСТЕМ С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Электропитание. Передатчик питается от малогабаритной литиевой батарейки (например, CR2032 емкостью 210 мА·ч). Элемент должен работать без замены не менее 5 лет при среднем числе передач в сутки 50 и температуре 25°C. Это обеспечивает удобство эксплуатации и сохранность уплотнителей в брелоке. Электронная схема брелока не используется более 99% времени. Большое значение имеет ток потребления в режиме ожидания, который не должен превышать 100 нА. В активном режиме после нажатия кнопки контроллер потребляет 2–3 мА без включения передатчика и 10–12 мА с работающим передатчиком.

Приемник получает энергию из бортовой электросети автомобиля или автономного источника. В режиме ожидания ток потребления менее 1 мА.

Быстродействие. Время от нажатия кнопки на брелоке до распознавания кода в приемнике — около 300 мс, с учетом выполнения команды — 1 с.

Размеры и стоимость. Передатчик должен быть малогабаритным, чтобы размещаться в корпусе брелока или обычного механического ключа. Замена утерянного брелока не должна быть дорогостоящей.

Работа. На рис. 11.45, 11.46 схематично изображены алгоритмы работы передатчика и приемника.

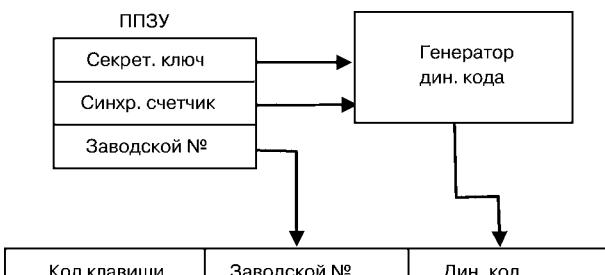


Рис. 11.45

Алгоритм работы передатчика

Передаваемая информация

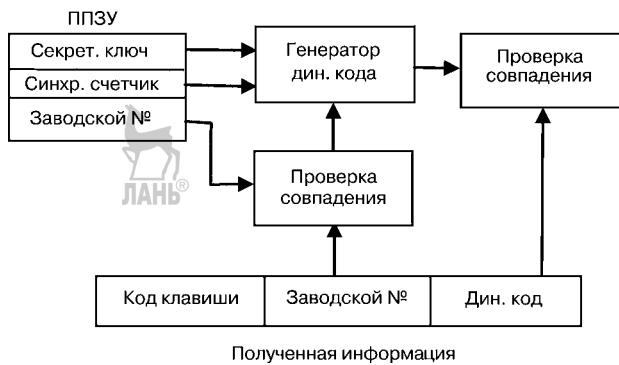


Рис. 11.46
Алгоритм работы приемника

При нажатии кнопки брелока (передатчика) его микросхема из режима ожидания переходит в рабочий режим. Запускается 16-разрядный синхронизирующий счетчик. Генератор динамического кода вырабатывает по определенному алгоритму динамический код (28–32 бит) в функции от значения секретного ключа (статический код) и состояния синхронизирующего счетчика. Динамический код, заводской номер брелока и код нажатой клавиши образуют управляющее слово длиной 60–70 бит, которое передается приемнику по радиоканалу или иным способом. Если брелок зарегистрирован в данном приемнике, т. е. его идентификационный номер, секретный код, состояние синхронизирующего счетчика помещены в ППЗУ приемника, принятая информация идентифицируется по номеру брелока и обрабатывается. Запускается синхронизирующий счетчик приемника и вырабатывается динамический код в его генераторе. Если динамические коды приемника и передатчика совпадают, переданная команда выполняется.

Заводской номер передатчика и секретный ключ — статические коды. Генератор динамического кода, тактируемый от 16-разрядного синхронизирующего счетчика, вырабатывает 65 635 различных значений кода, меняющихся в каждой посылке, повторяющихся циклически. Если пользоваться брелоком по 50 раз в день, повторение кода произойдет через 1310 сут.

Системы дистанционного управления на основе динамического кода являются криптографическими. Защита автомобиля от вскрытия зависит от кодовой длины секретного ключа, т. е. от числа его возможных состояний. Для автомобильных приложений считается удовлетворительным, если время T_s взлома системы методом сканирования (перебора возможных комбинаций) превышает 32 сут. В таком случае

$$T_s = \frac{1}{D} C(T_t + T_d),$$

где D — число зарегистрированных брелоков; C — число значений секретного ключа; T_t — время активации системы; T_d — время, на которое отключается система, получив неверный динамический код и распознав попытку взлома.

11.5.3. ВИДЫ ВЗЛОМА И ЗАЩИТА ОТ НИХ

Возможные варианты взлома системы дистанционного управления:

1. Воспроизведение ранее записанного кода.
2. Воспроизведение ранее записанного кода с использованием сканеров или грабберов.
3. Криптоанализ.
4. Взлом во время обслуживания.

Ранние системы дистанционного управления передавали фиксированный код или меняющийся код из небольшого фиксированного набора. Угонщик с портативным компьютером и приемопередатчиком (граббер) записывал сигнал с брелока автовладельца, затем воспроизводил его в нужный момент, отключая сигнализацию. При сканировании передатчик угонщика периодически посыпает кодовые комбинации из небольшого набора, пока противоугонная система не будет отключена совпавшим кодом.

Применение динамического кода, т. е. увеличение числа возможных кодовых комбинаций в посылке, сделало использование сканирования невозможным. С другой стороны, появились интеллектуальные грабберы, взламывающие противоугонные системы с динамическим кодом и односторонней передачей информации, работающие следующим образом.

Первая посылка с брелока записывается граббером с одновременной генерацией помехи, блокирующей приемник. Не получив подтверждения о включении противоугонной системы, владелец вторично нажимает кнопку брелока. Граббер записывает вторую посылку, блокирует ее приемником, затем посыпает первую посылку. Противоугонная система включается. В нужное время угонщик ее отключит записанной граббером второй посылкой. Возможным методом борьбы против этого алгоритма работы граббера является использование двунаправленной передачи информации в системе дистанционного управления.

Криптоаналитик по записям нескольких реализаций динамического кода, полученных граббером, может определить алгоритм работы генератора и секретный ключ, чтобы потом по N -посылке вычислить $(N + 1)$ -ю.

В современных противоугонных системах часто применяют специализированные микросхемы фирмы Microchip, реализующие алгоритм генерации псевдослучайной последовательности (динамического кода) Keeloq с длиной ключа 64 бита. Имеются оценки среднего времени для аппаратного вскрытия грубой силой (перебором комбинаций) в зависимости от затрат на взламывающее оборудование и длины ключа (табл. 11.6).

Таблица 11.6

Оценки среднего времени для аппаратного вскрытия

Стоимость оборудования, долл.	Длина ключа в битах		
	56	64	80
100 000	35 ч	1 год	70 000 лет
1 000 000	3,5 ч	37 дней	7000 лет
10 000 000	21 мин	4 дня	700 лет

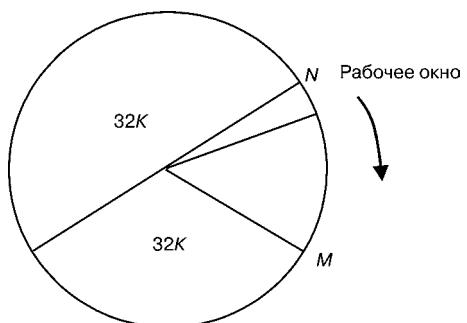


Рис. 11.47
Алгоритм синхронизации

Для взлома противоугонной системы нужно иметь специализированное оборудование или суперЭВМ типа Gray, так как операционные системы обычных компьютеров не приспособлены для обработки длинных кодовых слов. Криптоанализ обойдется слишком дорого.

В автосервисе угонщики могут попытаться зарегистрировать свой брелок в приемнике автомобиля. Далее можно записать с помощью граббера команду ресинхронизации с зарегистрированного брелока, чтобы позднее воспропо-

звести ее при угоне. Следовательно, программное обеспечение приемника должно информировать владельца о подключении еще одного передатчика. Для нормальной работы системы дистанционного управления содержимое 16-разрядных синхронизирующих счетчиков приемника и передатчика должны совпадать и инкрементироваться с каждым нажатием кнопки брелока. На практике возможны случайные нажатия кнопок брелока (ребенок поиграл), ведущие к рассинхронизации, что должно корректироваться. Алгоритм синхронизации в противоугонных системах поясняет рис. 11.47.

Код в синхронизирующем счетчике циклически изменяется с каждым нажатием кнопки брелока, пробегая последовательно значения $0, 1, \dots, N, N + 1, \dots, 2^{16} - 1, 0, 1, \dots$. Пусть текущее состояние счетчика приемника N . Приемник воспримет в качестве разрешенных динамические коды, соответствующие состояниям синхронизирующего счетчика от N до $(N + \Delta)$, где Δ — ширина рабочего окна, обычно $\Delta = 16$. В пределах рабочего окна ресинхронизация производится одной посылкой незаметно для владельца. $32K$ состояний счетчика до N являются запрещенными, $32K$ состояний счетчика после N — разрешенными. Рабочее окно и обе зоны циклически перемещаются при инкрементации счетчика. Если с брелока поступает динамический код, соответствующий состоянию синхронизирующего счетчика M вне рабочей зоны, но в разрешенной зоне, приемник запоминает M и ждет следующей посылки. Если в следующей посылке передается код, соответствующий $(M + 1)$, производится ресинхронизация счетчика приемника, рабочее окно смешается в новое положение, посланная команда выполняется.

Получив код из запрещенной зоны, приемник на какое-то время отключается, чтобы воспрепятствовать сканированию.

После записи двойной посылки для ресинхронизации угонщик должен $32K$ раз нажать кнопку брелока, чтобы посланный с граббера код оказался опять в разрешенной зоне. Кроме того, приемник запоминает несколько последних попыток ресинхронизации (обычно 4) и не позволяет использовать записанные кодовые комбинации повторно.

Большинство противоугонных систем поддерживают режим Valet, когда для обслуживания автомобиля система отключается и нет необходимости передавать брелоки посторонним лицам.

Шифраторы и дешифраторы динамического кода Keeloq. Микросхемы фирмы Microchip используются в большинстве современных автомобильных противоугонных систем. Код Keeloq представляет собой двоичную псевдослучайную последовательность с периодом ($2^{64} - 1$) бит. Для идентификации передатчика используются блоки длиной 32 бита. Уникальный для каждого передатчика 64-битовый ключ — это начальное состояние сдвигающего регистра генератора псевдослучайной последовательности.

Хотя в криптографии считается, что безопасность алгоритма должна базироваться на длине ключа, а не на секретности алгоритма, никто не спешит публиковать свой алгоритм. Так поступает и Microchip, но можно сделать некоторые логические предложения.

Последовательности сдвигающих регистров, генерирующие псевдослучайный сигнал, давно используются в криптографии, а также в исследованиях динамики систем автоматики. Их математическая теория хорошо разработана, они легко реализуются, применялись в криптографии еще до появления электроники.

На рис. 11.48 показана блок-схема генератора псевдослучайной последовательности, это сдвигающий регистр с обратными связями.

Выходы n -разрядного сдвигающего регистра подключены к блоку обратной связи. Содержимое регистра сдвигается вправо. Бит a_n заменяется на a_{n-1} и т. д. В первый разряд записывается значение, определяемое функцией обратной связи. Выходной сигнал снимается с одного из разрядов и имеет период до ($2^n - 1$). В блоке обратной связи чаще всего используется операция суммирования по модулю два (исключающее «ИЛИ»). Например, генератор на рис. 11.49 выдает последовательность ...111101011001000..., проходя последовательно состояния ...1111, 1110, 1101, 1010, 0101, 1011, 0110, 1100, 1001, 0010, 1000, 0001, 0011, 0111.

Имеются таблицы, в которых указаны разряды регистров определенной разрядности, участвующие в формировании сигнала обратной связи, чтобы выходная последовательность имела максимальный возможный период ($2^n - 1$). Например, 8–4–1, 9–5–4–3–1, 64–2–1 и т. д. Отвод обязательно делается от крайних разрядов. Выходные сигналы таких генераторов называют М-последовательностями.

Шифры на основе М-последовательности в чистом виде относительно легко раскрываются, так как имеются алгоритмы, позволяющие определять структуру генератора по наблюдаемому выходному сигналу. Для преодоления этого недостатка генераторы

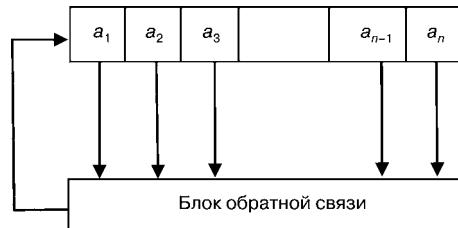


Рис. 11.48
Генератор М-последовательности

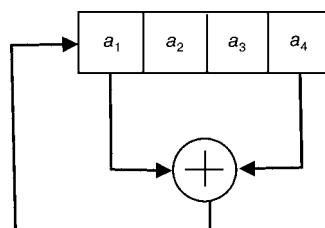


Рис. 11.49
Четырехразрядный генератор



Рис. 11.50
Генератор Геффа

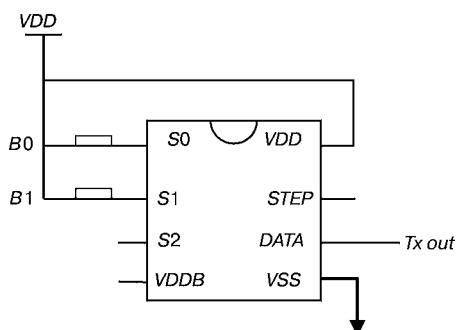


Рис. 11.51
Шифратор HCS201

очень компактны (рис. 11.51), и для изготовления на их базе брелоков требуется микросхема передатчика и минимум внешних компонентов.

При нажатии любой из кнопок передается динамический код и статус нажатой кнопки, приемник выполняет соответствующую этой кнопки команду. При одновременном нажатии всех кнопок передается вместо динамического кода 32-разрядное слово (seed) для генерации в приемнике секретного ключа — это один из вариантов реализации процедуры регистрации брелока в приемнике.

Перед использованием в шифратор с помощью программатора заносится инициализирующая информация. Для защиты от взлома эта информация может быть считана из ППЗУ только непосредственно после записи. Потом она недоступна для чтения. Записываются:

- 28- или 32-разрядный номер брелока для его идентификации в системе;
- 64-разрядный секретный ключ — начальное состояние генератора псевдослучайной последовательности. Ключ может быть сформирован изготавителем противоугонной системы самостоятельно или использован алгоритмом генерации ключей, предлагаемый фирмой Microchip, тогда будет применяться стандартная процедура регистрации брелоков в приемнике. Входной информацией для алгоритма являются номер брелока и 64-битовый секретный код, который изготавитель помещает в приемник. В другом варианте этот номер брелока и 32-битовое число из ППЗУ брелока (seed);
- 12-разрядное дискриминационное слово. Произвольный статический код, рекомендуется использовать младшие разряды номера брелока;

потока ключей усложняют. Например, на рис. 11.50 показан один из таких вариантов — генератор Геффа.

Оба генератора тактируются синхронно, их выходные сигналы подаются на схему исключающего «ИЛИ». Результирующий сигнал — M-последовательность с периодом $(2^{n-k} - 1)$. Пространством ключей будет множество $(n + k)$ -разрядных начальных состояний регистров.

В алгоритме Keeloq передаются не 64-разрядные слова состояния регистра, а 32-разрядные блоки. Цельная выходная последовательность длиной больше $2n$ бит здесь недопустима.

Шифраторы HCS200, HCS201 и дешифраторы GCS515 Microchip — типичные специализированные микросхемы для использования в системах дистанционного управления, в частности, в автомобильных противоугонных системах. Шифраторы (например, HCS201)

- 32-разрядное секретное слово (seed), которое передается в одном из режимов регистрации, для генерации в приемнике секретного ключа.

На рис. 11.46 схематично показано слово, передаваемое брелоком приемнику. Здесь динамический код — это зашифрованный шифром Keeloq 32-разрядный блок, включающий: статус клавиши — 4 бита, дискриминационное слово — 12 бит, состояние синхронизирующего счетчика — 16 бит.

В ППЗУ приемника хранятся дискриминационное слово, секретный ключ и состояние синхронизирующего счетчика. При совпадении дискриминационных слов приемника и передатчика делается вывод о состоятельности дешифрования и команда выполняется. Несовпадение значений означает рассинхронизацию, т. е. для шифрования и дешифрования использовались не синхронные последовательности из пространства ключей. Приемник начинает процедуру ресинхронизации, т. е. начинает инкрементировать синхронизирующий счетчик и дешифровать сообщение с помощью соответствующих состояниям синхросчетчика и секретному ключу последовательностей, пока дискриминационное слово не дешифруется правильно. Далее реализуется алгоритм синхронизации (рис. 11.47).

В приемник записывают 64-битовое секретное слово производителя, которое применяется при генерации секретного ключа, и дискриминационное значение или указание, что в качестве такового используется 12 младших разрядов номера брелока.

При регистрации брелока приемник включается в режим «обучения». При первом нажатии кнопки брелока его номер записывается в память приемника на свободное место. По этому номеру и 64-битовому секретному коду генерируется секретный ключ — такой же, как в брелоке. Начинается дешифрация сообщения для определения состояния синхронизирующего счетчика передатчика, полученное значение запоминается. Кнопка брелока нажимается повторно, проверяются значения дискриминационного слова и синхросчетчика. При успешном завершении процедуры брелок регистрируется.

Производители противоугонных систем разработали и иные процедуры регистрации.

Иммобилизатор с микротранспондером. Противоугонные системы постоянно совершенствуются, одним из вариантов является электронный иммобилизатор с микротранспондером в ключе зажигания. Замок зажигания срабатывает, если код, полученный специальным приемником от транспондера, совпадает с заданным. Транспондер потребляет электромагнитную энергию, излучаемую приемником на частоте 60–150 кГц, и не требует дополнительного источника питания.

На рис. 11.52 схематично показана противоугонная система, выпущенная фирмой Philips и применяемая на автомобилях многих моделей, включая BMW, GM и Volkswagen.

Транспондер состоит из сложной микросхемы, называемой программируемым идентификатором (Programmable Identification — PIT), которая подключена к источнику питания, состоящему из принимающей катушки и конденсатора. Когда ключ зажигания оказывается на расстоянии примерно 5 см

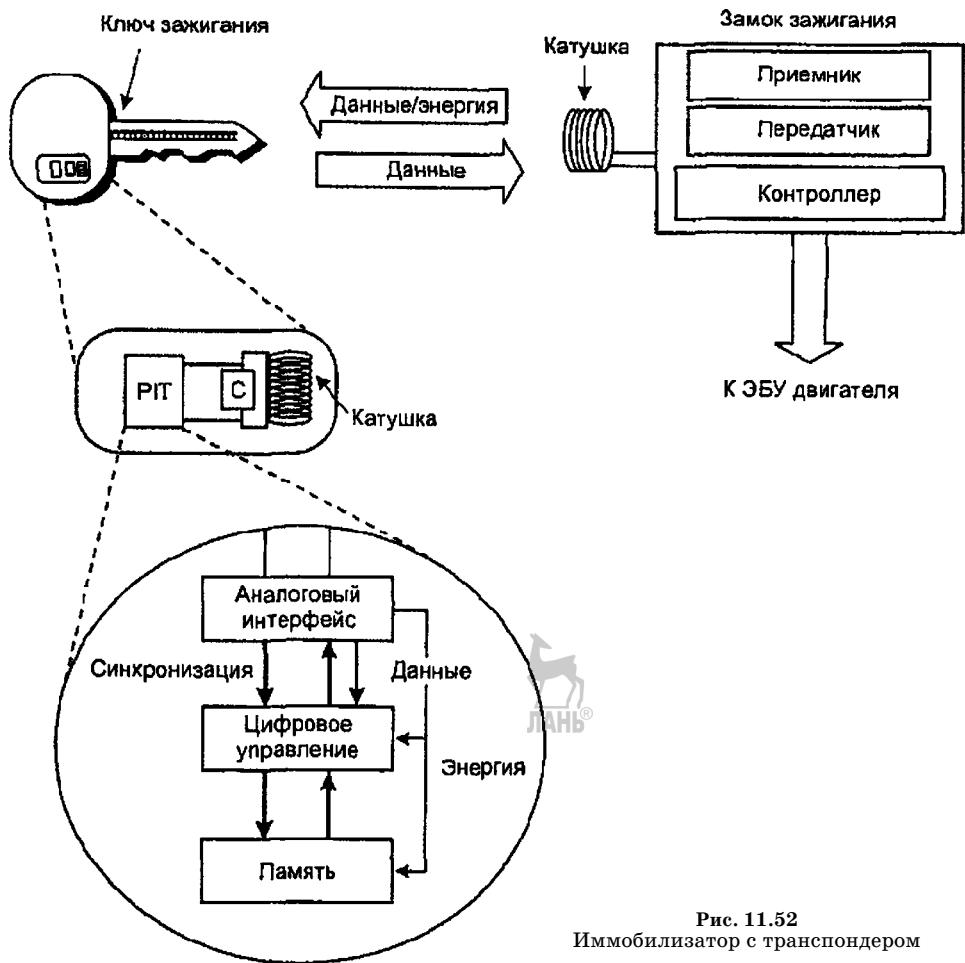


Рис. 11.52
Иммобилизатор с транспондером

от замка, возникает электромагнитная связь между катушкой транспондера и приемником. Получаемой энергии оказывается достаточно для работы микросхемы PIT, которая передает кодовое слово на приемник, модулируя ток, проходящий через катушку на ключе. Если код, полученный от транспондера, соответствует коду, хранящемуся в памяти приемника, ЭБУ двигателя получает разрешение выполнить запуск двигателя. После успешного запуска двигателя приемник посыпает в транспондер новую кодовую комбинацию, именно она будет использоваться при следующем запуске двигателя. Так достигается высокий уровень защищенности противоугонной системы.

В некоторых системах транспондер может работать на расстоянии 1–1,5 м от приемника; его, как правило, кладут в карман. Если приемник утрачивает связь с транспондером (водителя выбросили из салона), через некоторое время двигатель останавливается.

Интеллектуальные грабберы засекают наличие такого транспондера и способны имитировать его сигнал.

Конфигурация противоугонной системы. На рис. 11.53 показана конфигурация базовой противоугонной системы с периметрической и объемной защитой и с иммобилизатором.

Система состоит из микропроцессорного ЭБУ, управляющего также центральным замком и приводящегося в рабочее состояние сигналом с радиочастотного дистанционного пульта управления после запирания дверей автомобиля. Как только противоугонная система включена, она может реагировать на следующие действия:

- открывание капота, дверей или багажника;
- попытка отпереть дверной замок;
- попытка включить замок зажигания;
- попытка включить стартер;
- перемещение, движение в салоне автомобиля (объемная защита).



Когда противоугонная система зафиксировала попытку несанкционированного доступа к автомобилю, на 30 с включается звуковой сигнал и подсветка фарами, иммобилизатор вносит разрывы в цепи управления запуском и запрещает пользование калибровочными диаграммами электронного зажигания и впрыска топлива, после чего работа двигателя становится невозможной.

Для выключения противоугонной системы и отпирания дверей с дистанционного пульта должен быть послан соответствующий код.

Дополнительные датчики. Многие противоугонные системы имеют дополнительные датчики и больше возможностей, чем описанная выше базовая система.

Радиоприемник и ящик для перчаток. Здесь могут быть установлены микропереключатели, включающие охранную сигнализацию при открывании ящика для перчаток, включении, демонтаже радиоприемника.

Датчики, фиксирующие разбивание стекла, включают охранную сигнализацию, если угонщик попытается проникнуть в салон автомобиля, разбив

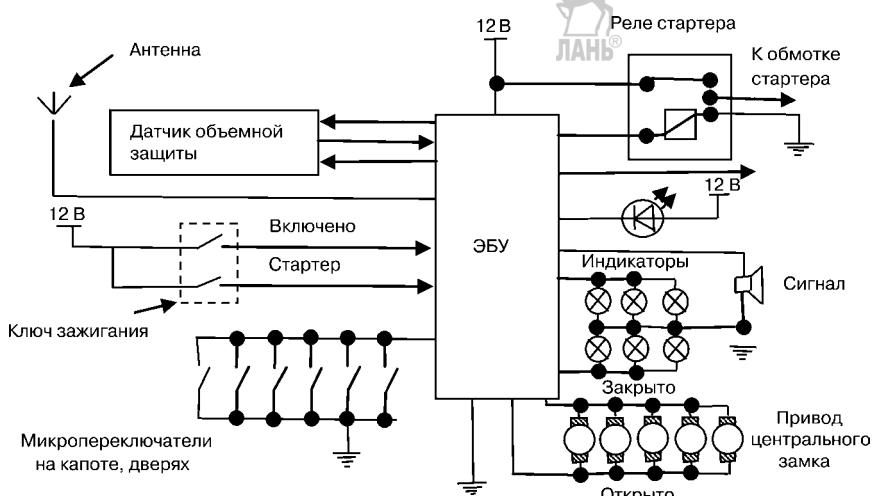


Рис. 11.53
Блок-схема базовой противоугонной системы

заднее или боковое стекло. Переднее ветровое стекло (триплексное) обычно не оснащается датчиками, так как считается достаточно прочным. В основном используются два типа датчиков:

1) на стекле размещается петля из тонкого провода; целостность этой электрической цепи постоянно контролируется. При разбивании стекла электрическая цепь нарушается и включается охранная сигнализация. Этот способ хорош для неподвижных стекол, например для заднего стекла, где уже имеется электрический контур обогревателя;

2) магнитные датчики используются для подвижных боковых стекол. На нижнем крае стекла (в корпусе двери) закрепляют небольшой постоянный магнит. Когда стекло поднято, магнит находится близко от геркона, размещенного в корпусе двери, и магнитным полем замыкает контакты геркона, образуя замкнутый сигнальный контур. Если стекло разбито, его фрагменты проваливаются вместе с магнитом на дно корпуса двери, геркон размыкает контакты, включается охранная сигнализация.

Датчик наклона. Включает охранную сигнализацию, если наклон автомобиля будет отличаться от того, при котором он был запаркован. Это может произойти при попытке поднять автомобиль подъемным краном или буксировать. Один из типов датчиков предусматривает контроль величины электрической емкости конденсатора, образованного двумя металлическими пластинами, разделенными жидким диэлектриком. Если датчик наклонен, пластины по-иному омываются жидкостью и емкость меняется. ЭБУ противоугонного устройства замеряет емкость конденсатора и запоминает ее при включении, затем постоянно ее контролирует. При изменении емкости конденсатора (машину подняли краном) включается сигнал тревоги. По специальной команде ЭБУ противоугонного устройства сигнал с датчика наклона можно заблокировать, что позволяет перевозить автомобиль на пароме, по железной дороге без ложного срабатывания противоугонной системы.

Датчик положения автомобиля. Передвижение автомобиля вперед или назад фиксируется, что вызывает срабатывание противоугонной системы (например, при попытке толкать или буксовать автомобиль). Несанкционированное перемещение автомобиля обычно определяется подсчетом импульсов от датчика спидометра. Если за заданное время получено число импульсов больше определенного, автомобиль считается движущимся и включается сигнализация.



11.6. АВТОМОБИЛЬНЫЕ МУЛЬТИПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

11.6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

За последние 20 лет значительно возросла сложность автомобильной электропроводки. Сегодня разработка и изготовление автомобильного жгута проводов является проблемой из-за его размеров и веса. В современном автомобиле может быть более 1200 отдельных проводов. Например, жгут, идущий к двери водителя, содержит 50 проводов; жгут, подходящий к приборному

щитку, — около 100. Помимо увеличения размеров и веса большое число проводов и соединителей ухудшает надежность.

По стоимости автомобильный жгут проводов занимает четвертое место после кузова, двигателя и трансмиссии.

Растет число систем автомобиля, имеющих автотронное управление:

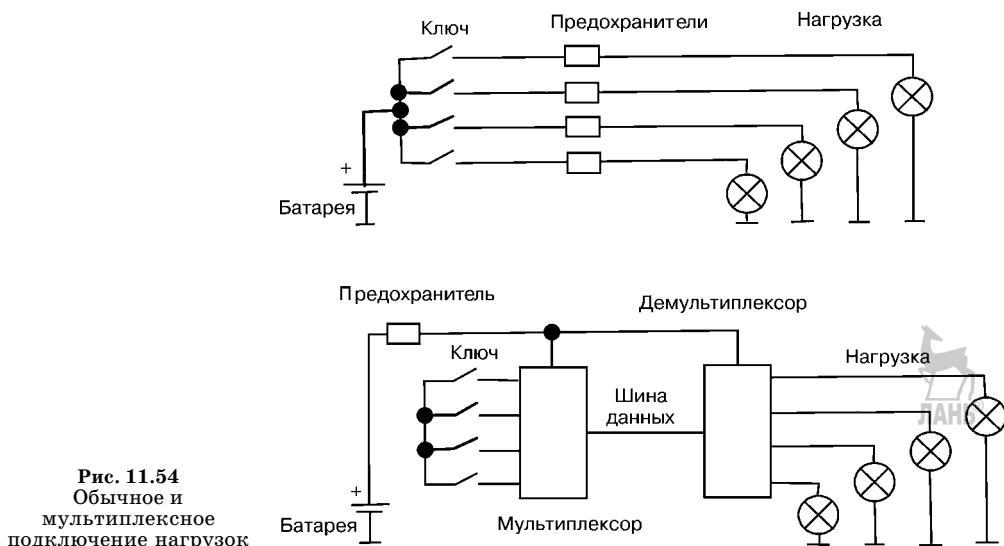
- двигателем;
- коробкой передач;
- клапанами.

Также появляются автотронные антиблокировочные системы, активная подвеска и т. д. Выходные сигналы некоторых датчиков могут использоватьсь несколькими электронными системами.

Один компьютер может управлять всеми автомобильными системами, но сегодня и в ближайшем будущем это экономически нецелесообразно. Начинает преворяться в жизнь другое техническое решение — контроллеры отдельных электронных блоков управления связываются друг с другом коммуникационной шиной для обмена данными. Датчики и исполнительные механизмы, подключенные к этойшине через специальные согласующие устройства, становятся доступными для всех ЭБУ. Это и есть не что иное, как локальная вычислительная сеть (ЛВС) на борту автомобиля.

Термин «мультплексный» широко используется в автомобильной промышленности. Обычно его относят к последовательным каналам передачи данных между различными электронными устройствами автомобиля. Несколько проводов, по которым передаются управляющие сигналы, заменяются шиной для обмена данными. Уменьшение количества проводов в электропроводке автомобиля — одна из причин разработки мультплексных систем.

Другая причина — необходимость объединения в ЛВС контроллеров различных ЭБУ для эффективной работы и диагностики. На рис. 11.54 показаны традиционная схема электропроводки и мультплексная система.



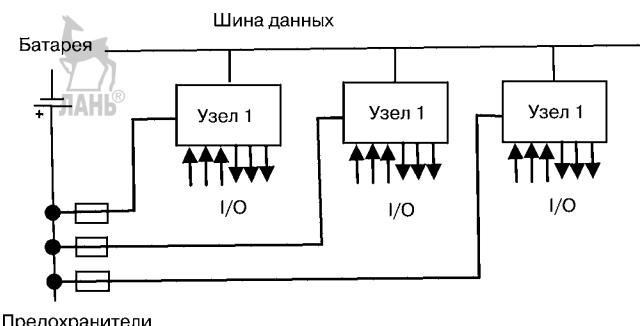


Рис. 11.55
Структура мультиплексной системы

Мультиплексные системы значительно отличаются от обычных. Укажем на некоторые отличия, очевидные из рисунка.

1. В обычных системах электропроводки информация и питание передаются по одним и тем же проводам. В мультиплексных системах сигналы и электропитание разделены.

2. В мультиплексных системах управляющие ключи непосредственно не включают и не выключают электропитание нагрузок.

3. В некоторых случаях электронная схема узла должна постоянно считывать состояние управляющего ключа, даже когда большая часть электрооборудования обесточена. Например, положение ключа центрального замка дверей должно определяться и при парковке, когда многие системы выключены из соображений энергосбережения.

По схеме на рис. 11.56 может быть реализовано электропитание корпусных потребителей: освещение, стеклоподъемники, омыватели и т. д. Электропроводка упрощается за счет приема и передачи различных сигналов между узлами по одной и той же шине (проводу). При обычной схеме проводки для реализации каждой функции требуется отдельный проводник. Через узлы осуществляется доступ к сети. Узел, как правило, содержит микропроцессор, подключенный к коммуникационнойшине, и электронные цепи, управляющие работой датчиков и исполнительных механизмов. Коммуникационная шина на современном автомобиле чаще всего представляет собой витую пару проводов, хотя возможны и другие варианты. На рис. 11.55 в общем виде показана мультиплексная система.

К входам узлов могут подключаться любые датчики, к выходам — исполнительные устройства. Примеры входной информации: температура, ток, напряжение, положение переключателей и т. д. Примеры исполнительных устройств и механизмов: дисплеи, электроклапаны, электродвигатели и т. п.

SAE (Society of Automotive Engineers — международное общество автомобильных инженеров) делит мультиплексные автомобильные системы на три класса:

- **класс А:** мультиплексные системы, в которых автомобильная электропроводка упрощается за счет использования коммуникационной шины. По ней между узлами передаются сигналы, проходящие по раздельным проводам в автомобиле с обычной электропроводкой. Узлы как

часть мультиплексной системы при обычной электропроводке отсутствуют.

- **класс В:** в мультиплексной системе между узлами передаются информационные данные (обычно значения параметров), чем достигается устранение избыточности датчиков и иных элементов по сравнению с обычной схемой электропроводки. В этом случае узлы существуют и в обычной системе в виде несвязанных элементов.
- **класс С:** мультиплексная система с высокой скоростью обмена данными, осуществляющая управление в реальном времени, например двигателем, антиблокировочной системой и т. д.

Системы класса А используются для включения/выключения различных нагрузок (например, для управления элементами двери салона), скорость передачи по шине не более 10 Кбит/с.

В системах класса В осуществляется обмен информацией между подсистемами, когда требуется скорость передачи данных 100–250 Кбит/с. В настоящее время системы класса В используются на автомобиле чаще других. Обмен данными в системах класса В соответствует требованиям стандарта J1850 (10–40 Кбит/с, США, Япония) или протоколу VAN (vehicle area network — автомобильная локальная сеть), 125 Кбит/с, поддерживаемому французскими фирмами Renault и Peugeot. Задачи систем класса В можно решить, применив шину CAN (controller area network — локальная сеть контроллеров), но пока это экономически нецелесообразно.

В системах класса С осуществляется распределенное управление в реальном масштабе времени, скорость обмена данными — около 1 Мбит/с. Шина CAN является стандартом для таких систем. Крупнейшие производители автомобильного электронного оборудования (Bosch, Delco) и комплектующих (Intel, Motorola) поддерживают CAN.

ПРИМЕРЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ МУЛЬТИПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ

Класс А. Системы класса А применяются в основном для упрощения и удешевления электрических соединений между устройствами корпусной электроники. Рассмотрим для примера противоугонную систему со структурой, показанной на рис. 11.56.

Противоугонная система приводится в дежурный режим контактом 11, выключается контактами замков дверей пассажира или водителя или багажника. В рабочем состоянии система включает клаксон 10 при срабатывании одного из контактов: 1, 3–5, 7, 8. Датчики и исполнительные механизмы в этом варианте подключены непосредственно к блоку управления через мультиплексоры одним проводом. Улучшены диагностические возможности системы, легче изменять ее конфигурацию, подключая к одной и той жешине через мультиплексоры дополнительные датчики и исполнительные механизмы. Мультиплексоры — это относительно несложные микроэлектронные устройства, которые содержат до 300 полупроводниковых вентилей. Их интегрируют с датчиками и исполнительными механизмами.

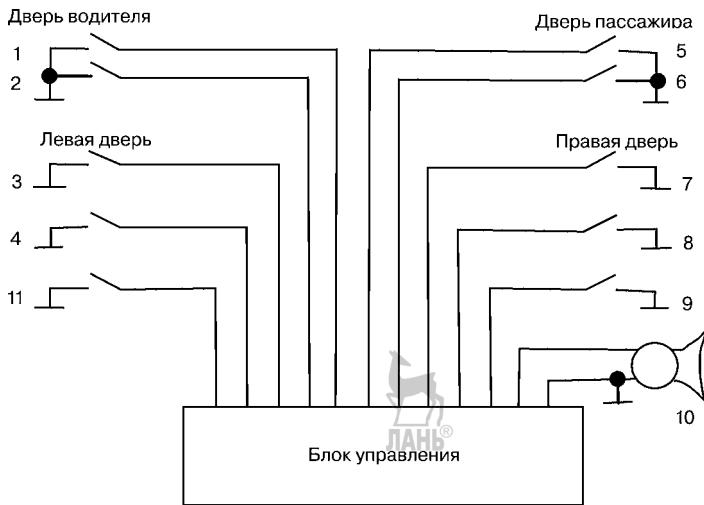


Рис. 11.56
Блок-схема противоугонной системы:

1 — контакт двери водителя; 2 — контакт замка двери водителя; 3 — контакт левой задней двери; 4 — контакт на капоте; 5 — контакт двери пассажира; 6 — контакт замка двери пассажира; 7 — контакт правой задней двери; 8 — контакт на крышке багажника; 9 — контакт замка багажника; 10 — klаксон; 11 — контакт на приборной панели.

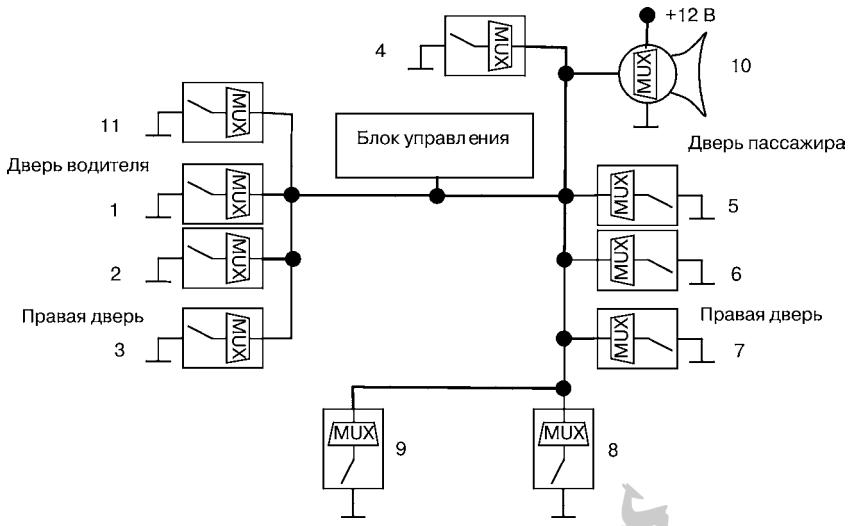


Рис. 11.57
Блок-схема мультиплексной противоугонной системы

То же устройство может быть реализовано в мультиплексном варианте (рис. 11.57).

Класс В. На рис. 11.58 показана часть типичной информационной системы водителя (ИСВ). Здесь сигналы с датчиков поступают на бортовой компьютер, к шине данных которого подключена комбинация приборов.

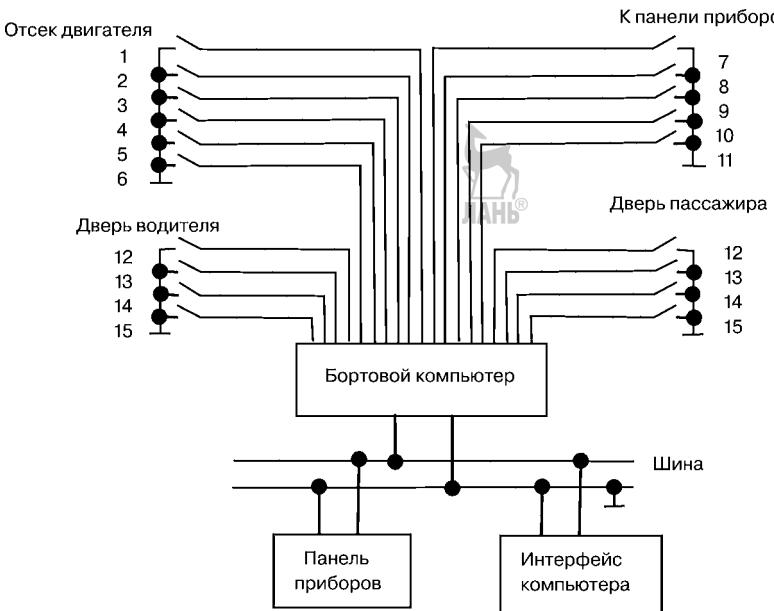


Рис. 11.58
Блок-схема информационной системы водителя

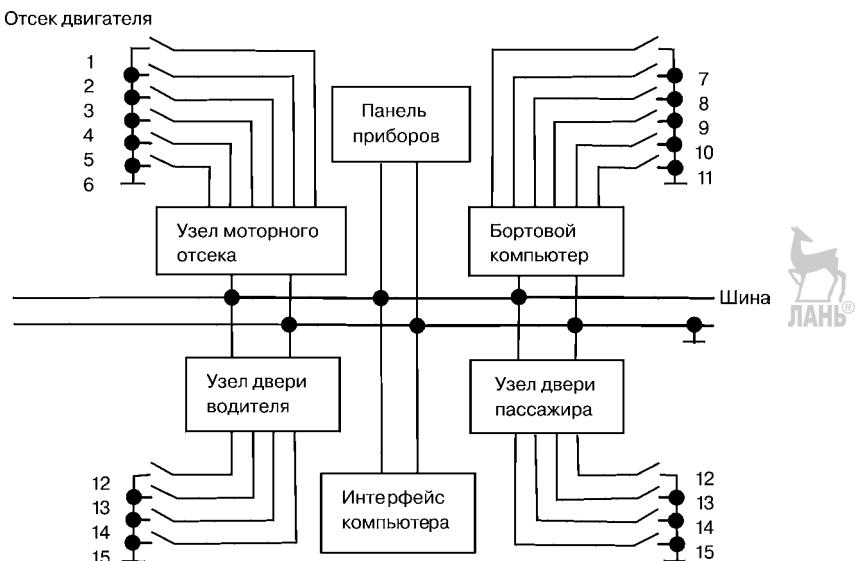


Рис. 11.59
Блок-схема информационной системы водителя с шиной класса В:

- 1 — уровень охладителя; 2 — давление тормозной жидкости; 3 — уровень масла; 4 — масло в коробке передач; 5 — омывающая жидкость; 6 — капот не закрыт; 7 — фары включены; 8 — мало топлива в баке; 9 — стеклоочистители включены; 10 — ключ в замке зажигания; 11 — привязные ремни; 12 — ручка двери; 13 — замок; 14 — дверь закрыта; 15 — дверь не заперта.

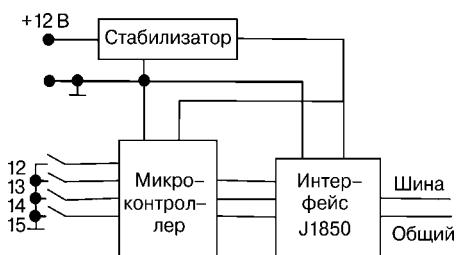


Рис. 11.60
Подключение устройств двери

ных с шиной класса В, к которым подключаются соответствующие датчики. При этом стараются уменьшить размеры жгутов, проходящих через узкие места типа дверца–корпус. К стоимости проводки добавляется стоимость узлов.

На рис. 11.59 приведена блок-схема ИВС с шиной класса В (цифрами обозначены сигналы датчиков).

Узел двери лучше располагать в двери, тогда жгут через промежуток упрощается, желательна также интеграция электронных и механических устройств. Структурная схема электронной части устройств двери показана на рис. 11.60.

Общие замечания по применению узлов:

- для снижения стоимости узлы выполняются на базе специализированных микросхем;
- единая конструкция возможна при использовании микропроцессоров в узлах;
- комбинация «обычный датчик — мультиплексный узел» не облегчает диагностику датчиков, так как нельзя определить, что именно неисправно — датчик или проводка.

По мере значительного усложнения бортовой автомобильной электроники мультиплексные системы, выполненные по классам А и В, становятся неоптимальными. Лучшим техническим решением является использование гибридной локальной сети, где датчики и исполнительные механизмы через канал класса А подключены к бортовому компьютеру, а приборная панель и интерфейс компьютера (дисплей и органы управления) подключены к компьютеру через канал класса В, мультиплексоры интегрированы в датчики и исполнительные механизмы. Обмен данными проводится по одному проводу, дополнительных узлов нет, улучшена диагностика за счет введения в компоненты электроники.

Такая конфигурация системы позволяет вводить дополнительные датчики и исполнительные устройства. Теперь к бортовому компьютеру на один исполнительный механизм можно подключить 7–14 датчиков.

Класс С. Все большую популярность завоевывает протокол CAN, с применением которого мультиплексные системы класса С могут реализовываться в следующих формах:

1. через одну и ту же сеть класса С производится обмен данными как для приложений, работающих в реальном времени (управление двигателем, подвеской, передачами), так и для приложений, обслуживающих бортовой ком-

В упрощенном варианте ИСВ число проводов в жгуте не слишком велико, что оправдывает данную схему соединения. Однако по мере усложнения электронного оборудования автомобиля и увеличения числа функций информационной системы количество соединительных проводов резко возрастает, усложняется диагностика неисправностей. Возможным решением в таком случае является введение нескольких узлов, соединенных

пьютер, контроль климата салона, приборную панель. Скорость обмена до 1 Мбит/с, линия связи — коаксиальный или оптический кабель;

2. гибридная сеть класса В и С. Производится обмен данными между узлами скоростной сети класса С и относительно медленной сети класса В. Шлюзом обычно бывает контроллер двигателя;

3. интеграция функций управления в реальном времени в наименьшее число модулей, например ЭБУ двигателя может управлять еще и трансмиссией. При такой архитектуре необходимость в дорогостоящих сетях класса С сводится к минимуму.

11.6.2. ЛОКАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

Эталонные модели взаимодействия систем. Для определения задач, поставленных перед сложной технической системой, а также для выделения главных характеристик и параметров, которыми она должна обладать, создаются общие модели. Такая модель вычислительной сети определяет характеристики сети в целом и характеристики и функции входящих в нее основных компонентов.

Многообразие вариантов вычислительных сетей и сетевых программных продуктов потребовало разрешить проблему объединения сетей различных архитектур. Для ее решения была разработана эталонная модель архитектуры открытых систем (рис. 11.61).

Открытая система — система, взаимодействующая с другими системами в соответствии с принятыми стандартами.

Эталонная модель архитектуры открытых систем является моделью взаимодействия открытых систем (моделью ВОС) и служит базой для производителей при разработке совместимого сетевого оборудования. Она не является неким физическим телом, отдельные элементы которого можно осязать, а представляет собой самые общие рекомендации для построения стандартов совместимых сетевых программных продуктов. Эти рекомендации должны быть реализованы как в аппаратуре, так и в программных средствах вычислительных сетей.

В настоящее время модель ВОС является наиболее популярной сетевой архитектурной моделью. Она рассматривает общие функции, а не специальные решения, поэтому не все реальные сети абсолютно точно ей соответствуют.

Модель ВОС состоит из семи уровней (рис. 11.61), три верхних объединяются под общим названием — процесс (или прикладной процесс), они определяют функциональные особенности вычислительной сети как прикладной системы:

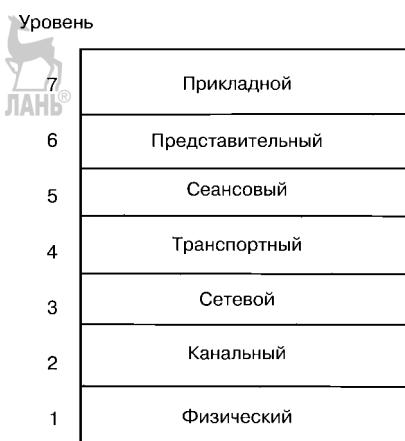


Рис. 11.61
Модель ВОС



- 7-й уровень — прикладной — обеспечивает поддержку прикладных процессов конечных пользователей и уровень, определяет круг прикладных задач, реализуемых в данной вычислительной сети;
- 6-й уровень — представительный — определяет синтаксис данных в модели, т. е. представление данных. Он гарантирует представление информации в кодах и форматах, принятых в данной системе. В некоторых системах этот уровень может быть объединен с прикладным;
- 5-й уровень — сеансовый — реализует установление и поддержку сеанса связи между двумя абонентами через коммуникационную сеть. Он позволяет производить обмен информацией в режиме, определенном прикладной программой, или предоставляет возможность выбора режима обмена. Сеансовый уровень поддерживает и завершает сеанс связи;
- 4-й уровень — транспортный — обеспечивает интерфейс между процессами и сетью. Он устанавливает логические каналы между процессами и обеспечивает передачу по этим каналам информационных пакетов, которыми обмениваются процессы. Пакет — группа байтов, передаваемых абонентами сети друг другу. Логические каналы, устанавливаемые транспортным уровнем, называются транспортными каналами;
- 3-й уровень — сетевой — определяет интерфейс оконечного оборудования пользователя с сетью коммутации пакетов. Он также отвечает за маршрутизацию пакетов в коммуникационной сети и за связь между сетями — реализует межсетевое взаимодействие;
- 2-й уровень — канальный — реализует процесс передачи информации по информационному каналу. Информационный канал — логический, он устанавливается между двумя ЭВМ, соединенными физическим каналом. Канальный уровень обеспечивает управление потоком данных в виде кад-

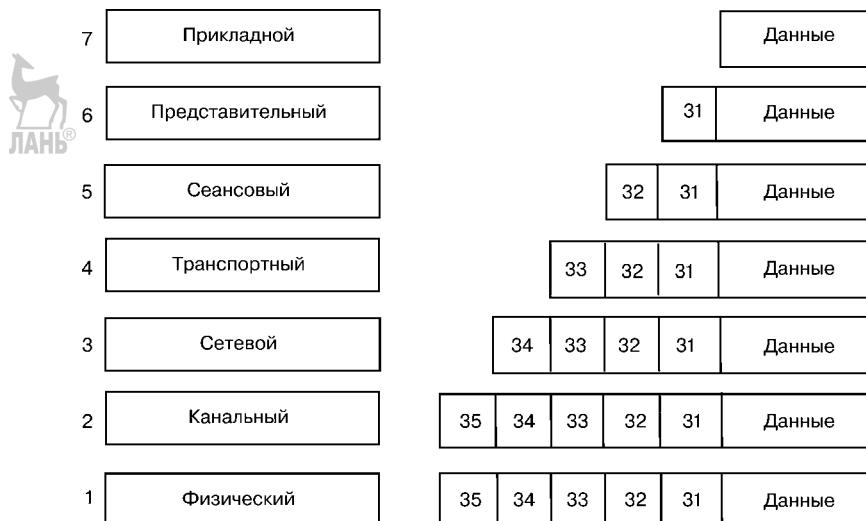


Рис. 11.62
Обработка сообщений уровнями модели ВОС
(каждый уровень добавляет свой заголовок — 3)

ров, в которые упаковываются информационные пакеты, обнаруживает ошибки передачи и реализует алгоритм восстановления информации в случае обнаружения сбоев или потерь данных. Кадр имеет структуру: информация об источнике данных, информация о приемнике, тип кадра, данные, контрольная информация;

- 1-й уровень — физический — выполняет все необходимые процедуры в канале связи. Его основная задача — управление аппаратурой передачи данных и подключенным к ней каналом связи.

При передаче информации от прикладного процесса в сеть происходит ее обработка уровнями модели ВОС (рис. 11.62).

Смысл этой обработки заключается в том, что каждый уровень добавляет к информации процесса свой заголовок — служебную информацию, которая необходима для адресации сообщений и для некоторых контрольных функций. Канальный уровень, кроме заголовка, добавляет еще и концевик — контрольную последовательность, которая используется для проверки правильности приема сообщения из коммуникационной сети.

Физический уровень заголовка не добавляет. Сообщение, обрамленное заголовками и концевиком, уходит в коммуникационную сеть и поступает на абонентские ЭВМ вычислительной сети. Каждая абонентская ЭВМ, принявшая сообщение, дешифрирует адреса и определяет, предназначено ли ей данное сообщение. При этом в абонентской ЭВМ происходит обратный процесс — чтение и отсечение заголовков уровнями модели ВОС, каждый из них реагирует только на свой заголовок. Заголовки верхних уровней нижними не воспринимаются и не изменяются — они прозрачны для них. Так, перемещаясь по уровням модели ВОС, информация наконец поступает к процессу (потребителю), которому она была адресована.

В процессе развития и совершенствования любой системы возникает потребность изменять ее отдельные компоненты, что существенно усложняет и затрудняет процесс модернизации системы. Именно тогда проявляются преимущества семиуровневой модели ВОС. Если между уровнями интерфейсы однозначно определены, то изменение одного из них не влечет за собой необходимости внесения изменений в другие уровни. Таким образом, существует относительная независимость уровней друг от друга.

Функции, описываемые уровнями модели, должны быть реализованы либо в аппаратуре, либо в виде программ. Функции физического уровня всегда реализуются в аппаратуре. Это адаптеры, мультиплексоры передачи данных, сетевые платы и т. п. Функции остальных уровней реализуются в виде программных модулей — драйверов.

Протоколы компьютерных сетей. При обмене информацией в компьютерной сети каждый уровень модели ВОС реагирует на свой заголовок. Иными словами, происходит взаимодействие между одноименными уровнями модели в различных абонентских ЭВМ. Такое взаимодействие должно выполняться по определенным правилам — протоколам.

Протокол — это не программа. Правила и последовательность выполнения действий при обмене информацией, определенные протоколом, должны быть реализованы в программе. Обычно функции протоколов различных

уровней реализуются в драйверах для различных вычислительных сетей. В соответствии с семиуровневой структурой модели ВОС можно говорить о необходимости существования протоколов для каждого уровня.

Концепция открытых систем предусматривает разработку стандартов для протоколов различных уровней. Легче всего поддаются стандартизации протоколы трех нижних уровней модели архитектуры открытых систем, так как они определяют действия и процедуры, характерные для вычислительных сетей любого класса. Труднее стандартизовать протоколы верхних уровней, особенно прикладного, из-за множественности прикладных задач и в ряде случаев их уникальности. Если по типам структур, методам доступа к физической передающей среде, используемым сетевым технологиям и некоторым другим особенностям можно насчитать примерно десяток различных моделей вычислительных сетей, то по их функциональному назначению пределов не существует.

Проще всего представить особенности сетевых протоколов на примере протоколов канального уровня, которые делятся на две основные группы: байт-ориентированные и бит-ориентированные.

Байт-ориентированный протокол обеспечивает передачу сообщения по информационному каналу в виде последовательности байтов. Кроме информационных байтов в канал передаются также управляющие и служебные байты. Такой тип протокола удобен для ЭВМ, потому что она обрабатывает данные, представленные в виде двоичных байтов. Для коммуникационной среды байт-ориентированный протокол менее удобен — разделение информационного потока в канале на байты требует использования дополнительных сигналов, что в итоге снижает пропускную способность канала связи.

Бит-ориентированный протокол предусматривает передачу информации в виде потока битов, не разделяемых на байты. Поэтому для разделения кадров используются специальные последовательности — флаги. В начале кадра ставится флаг открывающий, а в конце — флаг закрывающий. Бит-ориентированный протокол удобен относительно коммуникационной среды, так как канал связи как раз и ориентирован на передачу последовательности битов. Для ЭВМ он не очень удобен, так как из поступающей последовательности битов приходится выделять байты для последующей обработки сообщения. Впрочем, учитывая быстродействие ЭВМ, можно считать, что эта операция не окажет существенного влияния на ее производительность.

Физическая передающая среда ЛВС. Физическая среда обеспечивает передачу информации между абонентами вычислительной сети. Физическая передающая среда ЛВС может быть представлена следующими типами кабелей: одиночный провод, витая пара проводов, коаксиальный кабель, оптоволоконный кабель.

Однопроводные соединения используются в автомобильных мультиплексных системах со скоростью передачи информации ниже 10 Кбит/с. Помехозащищенность низкая.

Витая пара состоит из двух изолированных проводов, свитых между собой (рис. 11.63), это уменьшает влияние внешних электромагнитных полей на передаваемые сигналы.

Самый простой вариант витой пары — телефонный кабель. Витые пары имеют различные характеристики, определяемые размерами, изоляцией и шагом скручивания. Невысокая стоимость этого вида передающей среды делает ее достаточно популярной для ЛВС. Основной недостаток — плохая помехозащищенность и низкая скорость передачи информации — не более 1 Мбит/с. Технологические усовершенствования позволяют повысить скорость передачи и помехозащищенность (экранированная витая пара), но при этом возрастает стоимость этого типа передающей среды. В автомобильных сетях витые пары работают при скоростях обмена не выше 500 Кбит/с. Проблемы с электромагнитной совместимостью возникают уже при скорости обмена выше 100 Кбит/с.

Однопроводные кабели и витые пары удобно подключать к узлам сети.

Коаксиальный кабель (рис. 11.64) по сравнению с витой парой обладает более высокой механической прочностью, помехозащищенностью и обеспечивает скорость передачи информации до 50 Мбит/с.

Для промышленного использования выпускаются два типа коаксиальных кабелей: толстый и тонкий. Толстый кабель более прочен и передает сигналы нужной амплитуды на большее расстояние, чем тонкий. Тонкий кабель значительно дешевле.

Коаксиальный кабель, так же как и витая пара, является одним из популярных типов передающей среды для ЛВС. На автомобилях экранированные витые пары или коаксиальный кабель работают при скоростях обмена данными не более 10 Мбит/с, имеют хорошую электромагнитную совместимость, но подключать к узлам их неудобно, нужны специальные Т-образные ответвители.

Оптоволоконный кабель — идеальная передающая среда (рис. 11.65), так как он не подвержен действию электромагнитных полей и сам практически не имеет излучения. Последнее свойство позволяет использовать его в сетях, передающих секретную информацию.

Скорость передачи информации по оптоволоконному кабелю — более 50 Мбит/с. По сравнению с предыдущими типами передающей среды он имеет более высокую стоимость, менее технологичен в эксплуатации.

Основные топологии ЛВС. Вычислительные машины (контроллеры для автомобиля), входящие в состав ЛВС, могут быть расположены самым



Рис. 11.63
Витая пара

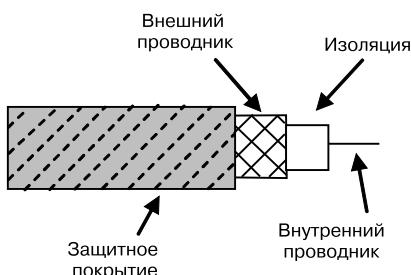


Рис. 11.64
Коаксиальный кабель

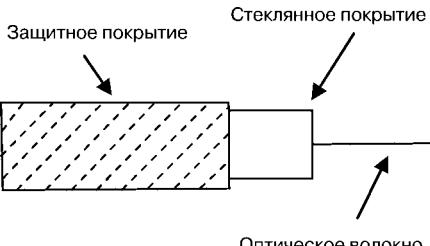


Рис. 11.65
Оптоволоконный кабель

случайным образом. Следует отметить, что для способа обращения к передающей среде и методов управления сетью небезразлично, как расположены абонентские ЭВМ. Поэтому имеет смысл говорить о топологии ЛВС.

Топология ЛВС — это формализованная геометрическая схема соединений узлов сети.

Топологии вычислительных сетей могут быть самыми различными, но для локальных вычислительных сетей типичными являются всего три: кольцевая, шинная, звездообразная. Иногда для упрощения используют термины — кольцо, шина и звезда. Однако рассматриваемые топологии не представляют собой идеальное кольцо, идеальную прямую или звезду.

Любую компьютерную сеть можно рассматривать как совокупность узлов. Узел — любое устройство, непосредственно подключенное к передающей среде сети. Топология формализует схему соединений узлов сети. И эллипс, и замкнутая кривая, и замкнутая ломаная линия относятся к кольцевой топологии, а незамкнутая ломаная линия — к шинной.

Кольцевая топология предусматривает соединение узлов сети в замкнутый контур кабелем передающей среды (рис. 11.66).

Выход одного узла сети соединяется с входом другого. Информация по кольцу передается от узла к узлу, каждый промежуточный узел между передатчиком и приемником ретранслирует посланное сообщение. Принимающий узел распознает и получает только адресованные ему сообщения.

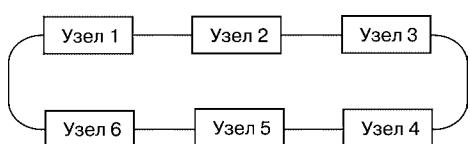


Рис. 11.66
Сеть кольцевой топологии

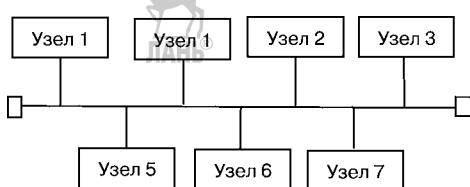


Рис. 11.67
Сеть шинной топологии



Рис. 11.68
Сеть звездообразной топологии

Кольцевая топология является идеальной для сетей, занимающих сравнительно небольшое пространство. В ней отсутствует центральный узел, что повышает надежность сети. Ретрансляция информации позволяет использовать в качестве передающей среды любые типы кабелей. Последовательный порядок обслуживания узлов такой сети снижает ее быстродействие, а выход из строя одного из узлов нарушает целостность кольца и требует принятия специальных мер для сохранения тракта передачи информации.

Шинная топология — одна из наиболее простых (рис. 11.67): данные от передающего узла сети распространяются по шине в обе стороны, передаточные узлы не транслируют поступающих сообщений, информация поступает на все узлы, но принимает сообщения только тот, которому оно адресовано.

Порядок обслуживания — параллельный, что обеспечивает высокое

быстродействие. Сеть легко наращивать и конфигурировать, а также адаптировать к различным системам.

ЛВС с шинной топологией устойчива к возможным неисправностям отдельных узлов. Такие ЛВС наиболее распространены в настоящее время. Следует отметить, что они имеют малую протяженность и не позволяют использовать различные типы кабеля в пределах одной сети.

Звездообразная топология (рис. 11.68) базируется на концепции центрального узла, к которому подключаются периферийные узлы, каждый из которых имеет свою отдельную линию связи с центральным узлом.

Вся информация передается через центральный узел, который ретранслирует, переключает и маршрутизирует информационные потоки в сети.

Звездообразная топология значительно упрощает взаимодействие узлов ЛВС друг с другом, позволяет использовать более простые сетевые адAPTERЫ. В то же время работоспособность ЛВС с звездообразной топологией целиком зависит от центрального узла.

В реальных вычислительных сетях могут использоваться более сложные топологии, представляющие в некоторых случаях сочетания рассмотренных. Выбор той или иной топологии определяется областью применения ЛВС, географическим расположением ее узлов и размерностью сети в целом.

Методы доступа к передающей среде. Передающая среда является общим ресурсом для всех узлов ЛВС. Чтобы получить возможность доступа к этому ресурсу из узла сети, необходимы специальные механизмы — методы доступа, — обеспечивающие выполнение совокупности правил, по которым узлы сети получают доступ к ресурсу.

Существуют два основных класса методов доступа: детерминированные и недетерминированные.

При детерминированных методах доступа передающая среда распределяется между узлами с помощью специального механизма управления, гарантирующего передачу данных узла в течение некоторого достаточно малого интервала времени.

Наиболее распространенными детерминированными методами доступа являются метод опроса и метод передачи права. Первый используется преимущественно в сетях звездообразной топологии, второй — в сетях с кольцевой топологией. Он основан на передаче по сети специального сообщения — маркера.

Маркер — служебное сообщение определенного формата, в которое абоненты сети могут помещать свои информационные пакеты. Он циркулирует по кольцу, и любой узел, имеющий данные для передачи, помещает их в свободный маркер, устанавливает признак занятости маркера и передает его в кольцо. Узел, которому было адресовано сообщение, принимает его, устанавливает признак подтверждения приема информации и отправляет маркер в кольцо. Передающий узел, получив подтверждение, освобождает маркер и отправляет его в сеть. Существуют методы доступа, использующие несколько маркеров.

Недетерминированные — случайные — методы доступа предусматривают конкуренцию всех узлов сети за право передачи. Возможны одновременные



попытки передачи со стороны нескольких узлов, в результате чего возникают коллизии. Наиболее распространенным недетерминированным методом доступа является множественный метод доступа с контролем несущей частоты и обнаружением коллизий (CSMA/CD). Контроль несущей частоты заключается в том, что узел, желающий передать сообщение, «прослушивает» передающую среду, ожидая ее освобождения. Если среда свободна, узел начинает передачу.

Следует отметить, что топология сети, метод доступа к передающей среде и метод передачи тесным образом связаны друг с другом. Определяющим компонентом является топология сети.

Временное и частотное уплотнение сигналов в мультиплексных системах. По методам уплотнения сигналов ЛВС можно разделить на две большие категории — с временным и с частотным уплотнением. Эти два метода уплотнения основаны на разных принципах использования рабочей полосы частот системы.

Временное уплотнение. На рис. 11.69 a показано, что в сетях с временным уплотнением (или с передачей сигнала без модуляции) в любой конкретный момент времени передачу данных через сеть ведет одно устройство, занимая всю полосу частот системы.

Такой метод обеспечивает очень высокую скорость передачи в битах за секунду. Для того чтобы дать возможность многим абонентам обращаться к

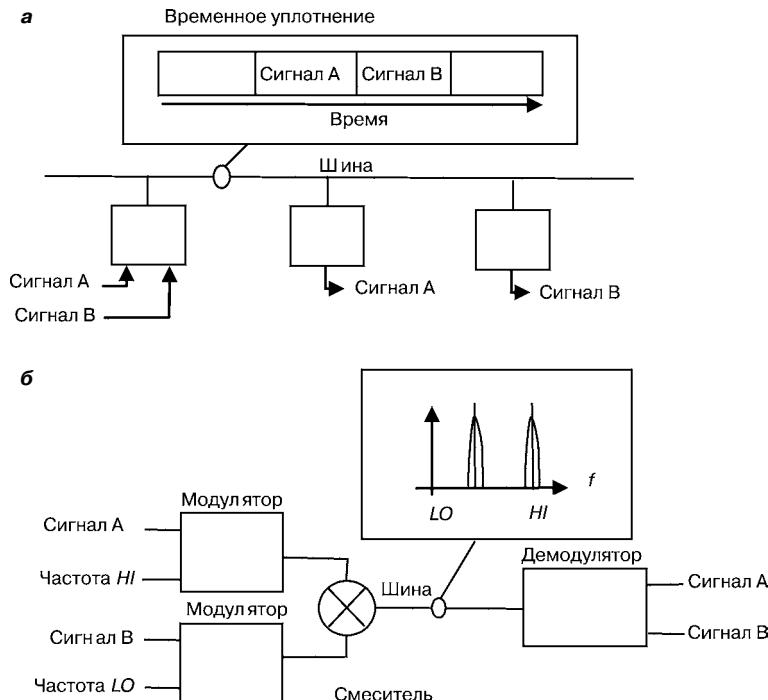


Рис. 11.69
Временное и частотное разделение каналов

сети, длительность каждой передачи должна ограничиваться заданным интервалом времени. К каждому блоку данных присоединяется адрес того узла, на который они должны пересыпаться. Каждый узел постоянно контролирует адреса нашине, чтобы выявить блоки данных, направляемые именно ему.

Возможности ЛВС с временным уплотнением сигналов ограничиваются тем, что в конкретный момент времени передавать данные через подобную сеть может только один абонент. На практике общее число абонентов ЛВС зависит от средней временной протяженности (длины) сообщений и количества сообщений, которые необходимо передать за определенное время.

Частотное уплотнение. Из рис. 11.69б видно, что в сетях с частотным уплотнением сигналов (или широкополосных сетях) полоса частот разбита на ряд непрерывающихся частотных поддиапазонов. Каждой паре взаимодействующих между собой узлов выделяется один из этих поддиапазонов. Следовательно, в любой момент времени обращаться к сети могут одновременно много абонентов, поскольку они используют разные поддиапазоны частот.

Как правило, когда два узла устанавливают между собой связь через широкополосную сеть, им выделяется определенный частотный поддиапазон, поэтому нет необходимости указывать адрес перед блоком данных и накладывать ограничение на длительность передачи.

Преимущество метода частотного уплотнения заключается в том, что, в отличие от временного уплотнения, он позволяет многим абонентам одновременно обмениваться данными через сеть. Однако на число одновременно обращающихся к сети абонентов также накладывается естественное ограничение: если в какой-либо момент времени заняты все выделенные поддиапазоны частот, то никто не сможет получить доступ к сети. Таким образом, хотя метод частотного уплотнения обеспечивает более высокое быстродействие сети, при его использовании общее число абонентов может быть меньше, чем при временном уплотнении.

11.6.3. ПРОТОКОЛЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ МУЛЬТИПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ

ПРОТОКОЛЫ ВЫСОКИХ УРОВНЕЙ

Термин «протоколы высоких уровней» обычно относят к уровням 3–7 модели ВОС. На этих уровнях решаются вопросы представления данных, упаковки и длинных сообщений, стандартизации приложений и т. д. Когда функции приложения распределены между несколькими электронными блоками управления, необходима максимальная независимость программного обеспечения приложения от локализации функций. Уже сегодня автомобильные средства связи с внешним миром, устройства для развлечения, мультимедиа производят обмен пакетами данных между собой (радиоприемник, CD-проигрыватель, сетевой телефон, бортовой компьютер, навигационная система). Эти пакеты значительно превышают размеры кадров данных, которые можно передавать по автомобильной коммуникационной шине. Разборка и сборка пакетов производится под управлением протоколов высоких

уровней. По этим причинам разработка и стандартизация протоколов высоких уровней важна для будущего автомобильной промышленности.

Протоколы высоких уровней должны обеспечивать:

- надежные и эффективные процедуры обмена длинными последовательностями данных;
- независимость программного обеспечения приложений от конфигурации сети и оборудования;
- удобство интерфейса для программиста.

Семиуровневая модель ВОС хорошо подходит для мощных компьютеров и сетей, где нет необходимости коммуникаций в реальном времени. Для автомобилей эта модель упрощается до двух верхних уровней — прикладного и транспортного, как показано на рис. 11.70.

Прикладной уровень обеспечивает интерфейс для программиста, решает задачу по получению и посылке данных, необходимых при управлении различными системами автомобиля.

На транспортном уровне осуществляется разборка и сборка пакетов. Блок управления сетью и узлами производит контроль сети и узлов, обнаруживает неисправности, активизирует сеть или переводит ее в неактивный режим. Этот блок взаимодействует непосредственно со всеми уровнями сетевой модели и с приложением.

Транспортный уровень должен обеспечивать передачу произвольно длинных сообщений между объектами прикладных уровней. Если длина сообщения превышает размер передаваемого по коммуникационной шине кадра, то сообщение распределяется на несколько пакетов. Сообщение передается с прикладного уровня на транспортный, где разделяется на сегменты, соответствующие размеру одного кадра. К каждому кадру транспортный уровень добавляет свою управляющую информацию протокола (PCI — protocol control information). Она используется транспортным уровнем на принимаю-

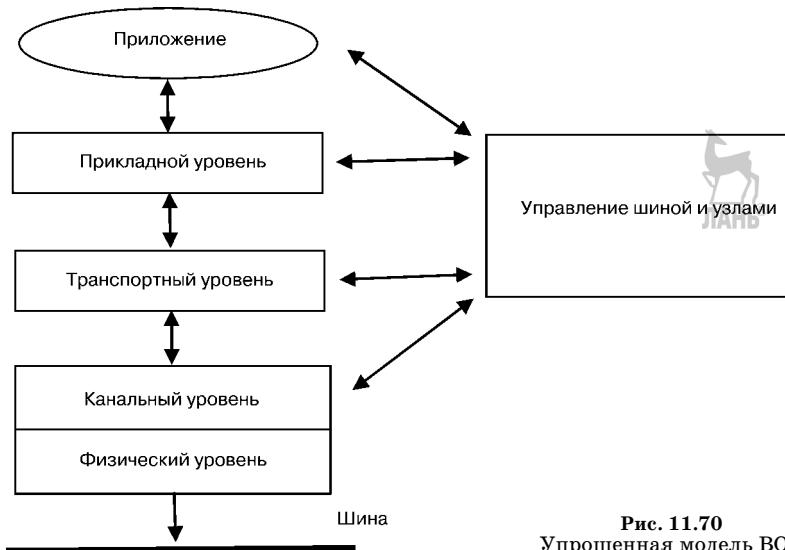


Рис. 11.70
Упрощенная модель ВОС

щей стороне для восстановления исходного сообщения и передачи его принимающему прикладному уровню.

PCI содержит сведения о числе кадров в исходном сообщении, номере текущего кадра сообщения, она необходима для обнаружения и исправления ошибок типа пропуска или дублирования кадра.

Управляющая информация протоколов высокого уровня обычно размещается в поле данных кадра низкого уровня (рис. 11.71а).

В автомобильных мультиплексных системах PCI иногда размещается в управляющем (арбитражном) поле кадра низкого уровня (рис. 11.71б), что делает мультиплексную систему более быстрой, но увеличивает зависимость от протоколов низкого уровня и применяемой аппаратуры.

Механизм управления потоком сообщений (трафиком) включает использование двух видов подтверждений:

- положительное подтверждение ACK (сокращение от acknowledge);

- отрицательное подтверждение NACK (сокращение от negative acknowledge).

ACK сигнализирует передатчику, что сообщение или кадр были приняты правильно и приемник готов принять следующий кадр. Оно необходимо, когда передатчику не известна скорость приема сообщений приемником. Положительное подтверждение может быть, например, использовано для синхронизации передачи данных между быстродействующей и медленной шиной без буферирования. В этом случае скорость обмена определяется возможностями медленной шины.

В сети могут быть реализованы режимы, когда приемник квитирует (подтверждает) каждый принятый кадр (рис. 11.72) или блок кадров (рис. 11.73), что наиболее эффективно в смысле быстродействия мультиплексной системы.

NACK выдается приемником в сеть, когда что-то происходит неправильно. Режим работы с отрицательным подтверждением может увеличить быстродействие сети, так как при отсутствии ошибок число кадров, передаваемых

Арбитражное поле	Поле данных	
	PCI	Данные

Арбитражное поле	Поле данных	
PCI	PCI	Данные

Рис. 11.71
Размещение PCI в кадре

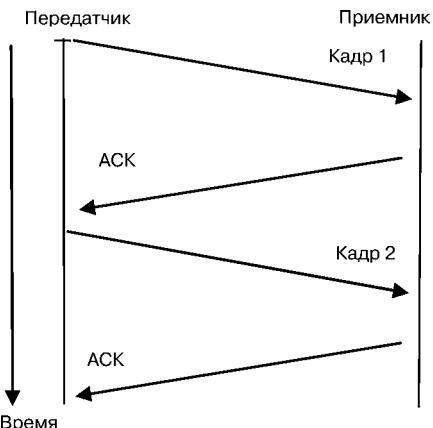


Рис. 11.72
Квитирование каждого кадра

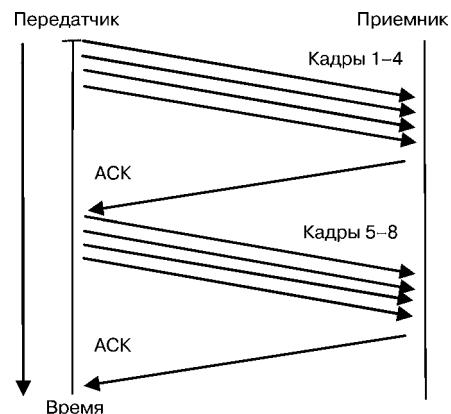


Рис. 11.73
Квитирование блока кадров

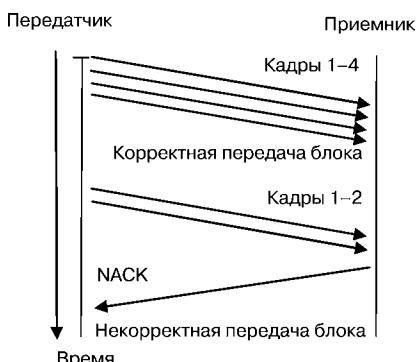


Рис. 11.74
Передача сигнала NACK

от передатчика к приемнику, а следовательно, и время их передачи уменьшается (рис. 11.74).

На практике возможны различные комбинации механизмов управления передачей данных в сети.

И приемник, и передатчик могут иметь средства для обнаружения и исправления ошибок. Примеры ошибок, которые могут быть выявлены:

- приемник не получил кадр в установленное время;
- приемник получил некорректный кадр, например не с тем номером;

- приемник не закончил обработку полученного кадра, но готов получить следующий кадр;
- передатчик не получил положительное подтверждение в установленное время.

Когда передающий объект на транспортном уровне обнаруживает ошибку, он может поступить следующим образом:

- повторить передачу кадра;
- повторить передачу всего сообщения;
- прекратить передачу и предоставить дальнейшие действия приложению.

При проектировании транспортного уровня возникает проблема буферизации сообщений. Для получения сколь угодно больших сообщений от прикладного уровня следует иметь сколь угодно большой буфер (оперативную память) на транспортном уровне, что невозможно. На практике размер сообщений разумно ограничивается буферированием, что увеличивает возможности мультиплексной системы работать в реальном времени.

Прикладной уровень является необходимой платформой для создания приложений. Он скрывает детали аппаратуры и сетевой конфигурации. На прикладном уровне создание приложений для мультиплексных и централизованных систем мало чем отличается. Приложение использует данные в пределах прикладного уровня, и для него безразлично, локальные это данные или они получены по коммуникационнойшине.

На прикладном уровне форматируется кадр со следующими данными из приложения:

- имя кадра и его идентификатор;
- место размещения переменных (параметров) в кадре;
- формат представления параметров;
- единица измерения параметра;
- допустимый диапазон значений;
- разрешающая способность;
- формула, преобразующая числовое значение в кадре (N) в значение, имеющее физический смысл (E).

В табл. 11.7 приведен пример кадра.

Пример кадра

Имя кадра	Температура
Идентификатор	40hex
Название переменной	Забортная температура
Размещение	Байты 0 и 1
Формат	16-битовый
Единица измерения	°C
Диапазон	-40...+50
Разрешение	0,1
Формула	$N = (E + 40) \cdot 10$

При декодировании кадра данных требуется определить, допустимо ли полученное значение параметра или нет (например, при неисправности датчика). Это делается путем добавления в кадр специального поля, фиксирующего достоверность/недостоверность значений параметров, либо основываясь на непосредственном анализе текущих значений параметров на принимающей стороне.

На прикладном уровне определяется, когда сообщение должно быть отправлено или принято. Отправка производится по времени или в результате обработки события, которым может быть изменение состояния датчика, значение, вышедшее за заданный предел, запрос от другого узла и т. д. Передача по времени ведется для параметров, доступных всей мультиплексной системе. Такие переменные делят на группы с различной требуемой скоростью обновления и передачи значений.

При приеме сообщений на прикладном уровне сообщение распаковывается в соответствии с принятым форматом кадра, и данные передаются активному приложению.

На прикладном уровне могут быть реализованы несколько моделей взаимодействия между узлами. В модели с общей памятью обмен информацией производится за счет операций записи и чтения. Данные сразу же становятся доступными для всех участвующих процессов. В мультиплексной системе никакой общей памяти физически не существует, она создается программным обеспечением прикладного уровня.

В модели «клиент — сервер» взаимодействие между процессами осуществляется способом, когда какой-либо процесс (сервер) способен выполнять операции по запросу другого процесса (клиента), размещенного в другом узле. Например, при диагностике сканер посыпает по сети запрос ЭБУ и получает в ответ значения параметров или коды ошибок.

Управление сетью (диспетчеризация). Назначение управления (диспетчеризация) сети — поддерживать ее корректную (штатную) работу. При этом должны производиться обработка ошибок, контроль конфигурации сети и правильности ее работы, ограничение доступа и обеспечение сохранности информации в сети. Для автомобильных систем наиболее важными являются обработка ошибок и контроль конфигурации.

От правильности реализации диспетчерских функций зависит способность сети противостоять отказам. Диспетчеризация осуществляется на локальном и сетевом уровнях.

Локальная диспетчеризация осуществляется на уровне узлов. Производится их конфигурирование и инициализация, управление ими, обнаружение неисправности и ошибок. Для локального диспетчера нет необходимости

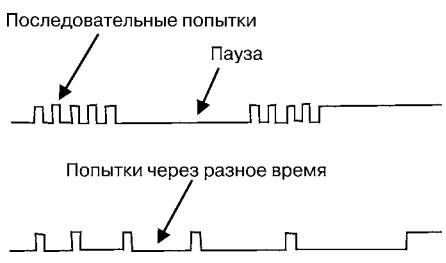


Рис. 11.75
Алгоритмы перезапуска шины CAN

посылать какие-либо сообщения по сети. При включении узла локальный диспетчер конфигурирует канальный уровень, например, в микросхеме CAN. После обнаружения неисправности диспетчер пытается перезапустить и реконфигурировать канальный уровень. Перезапуск производится по различным алгоритмам, как показано на рис. 11.75.

Диспетчеризация на сетевом уровне обеспечивает:

- определение и контроль конфигурации сети;
- включение сети;
- переход от неактивного к активному режиму и обратно.

Диспетчеризация производится централизованно или децентрализованно. При централизованном подходе один узел выполняет функции диспетчера сети. Для повышения надежности системы должен быть предусмотрен механизм передачи диспетчерских функций другому узлу при отказе первого.

При децентрализованном подходе каждый узел снабжен набором диспетчерских функций. Узлы постоянно обмениваются специализированной диспетчерской информацией. Сеть оказывается способной продолжать работу с меньшими возможностями даже при отказе нескольких узлов.

При централизованном подходе требуется меньше ресурсов, чем при децентрализованном.

Конфигурация сети может изменяться в зависимости от нужд конкретного приложения, в этом случае узлы выполняют разные задачи. Имеются концепции, когда программное обеспечение для элементов мультиплексной системы с указанием конфигурации загружается с одного из узлов при инициализации сети. Полагают, что таким образом возможно сокращение числа типов ЭБУ.

При выходе из строя одного из узлов теряется поступающая с него информация. Приложение должно генерировать утраченные данные самостоятельно, используя аварийные значения.

ПРОТОКОЛЫ НИЗКОГО УРОВНЯ (ШИННЫЕ)

Эти протоколы относятся к двум нижним уровням модели ВОС: канальному и физическому (рис. 11.76).

На канальном уровне определяются функции, необходимые для надежной и эффективной передачи данных между узлами одной и той же сети: адресация, организация кадров, обнаружение ошибок во время обмена данными в сети. На физическом — электрические, механические и прочие физические характеристики интерфейса для подключения узла в сети. Рассматриваются вопросы спецификации шинных соединителей, сетевых адаптеров, кодирования, синхронизации и т. д.

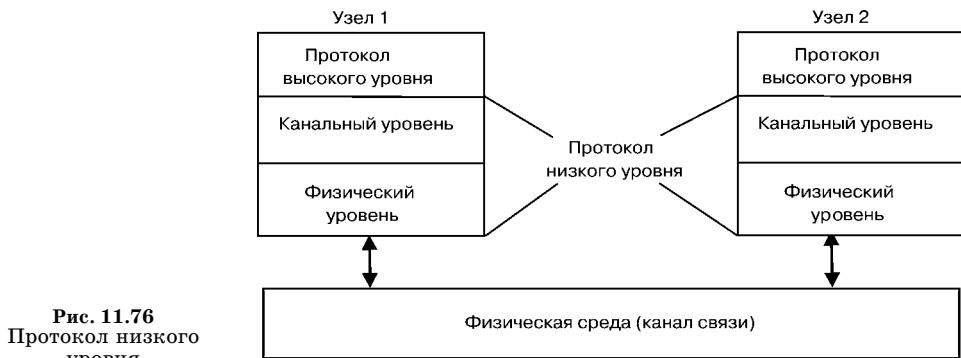


Рис. 11.76
Протокол низкого
уровня

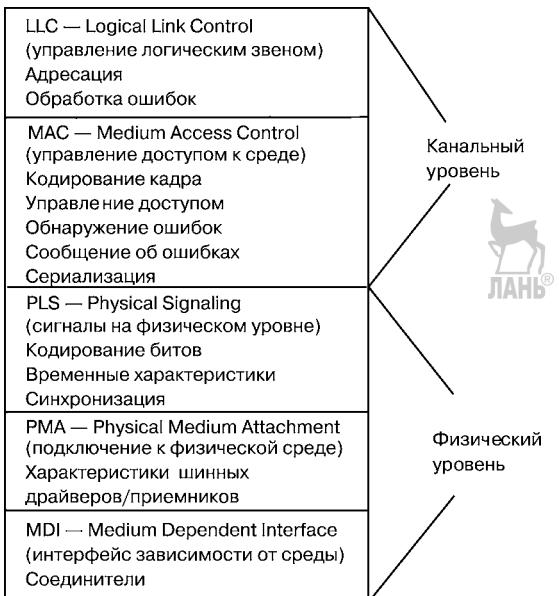


Рис. 11.77
Подробное представление
нижних уровней

Различные приложения предъявляют разные требования на физическом уровне, при этом основными параметрами при проектировании являются:

- скорость и расстояние передачи данных по шине;
- надежность;
- электромагнитная совместимость;
- соответствие стандартам и рекомендуемой практике;
- шинная топология.

Канал связи (электрические провода или оптические кабели) находится ниже физического уровня и в модель ВОС не входит (рис. 11.76).

Примерами протоколов низкого уровня, разработанных специально для автомобильной промышленности, являются:

- CAN (controller area network — Bosch, Intel);
- VAN (vehicle area network — Renault, Peugeot);
- VNP (vehicle network protocol — Ford).

В локальных сетях персональных компьютеров часто применяется протокол Ethernet, который в автомобильных системах не используется.

При рассмотрении протоколов низкого уровня канальный и физический уровни модели ВОС дополнительно разделяются на подуровни, что позволяет рассматривать происходящие процессы подробнее (см. рис. 11.77).

Канал связи физически соединяет узлы, участвующие в обмене данными при передаче сигналов электрическим, оптическим или иным методом. Ниже приводятся примеры реализации каналов связи в порядке возрастания их стоимости:

- одиничный провод;
- два провода;
- экранированная витая пара;
- коаксиальный кабель;
- оптический кабель;
- инфракрасное излучение;
- радиоканал.

Инфракрасное излучение и радиоканал для передачи данных по шине внутри автомобиля в настоящее время не применяются. Устройства с такими передающими каналами используются для обмена данными между автомобилем и внешней средой, например: дистанционное отпирание замков на дверях, включение охранной сигнализации, получение дорожной информации, предупреждение о столкновении и т. д.

Оптические линии связи также пока не нашли применения в автомобильных мультиплексных системах. Оптические кабели, способные эксплуатироваться в температурном режиме, характерном для автомобиля, дорогостоящи, кроме того, с их помощью трудно реализовать сети с шинной топологией (звездообразная или кольцевая топология реализуется проще).

Сегодня в автомобильных мультиплексных системах информация передается, как правило, по проводам. Однопроводная схема используется при

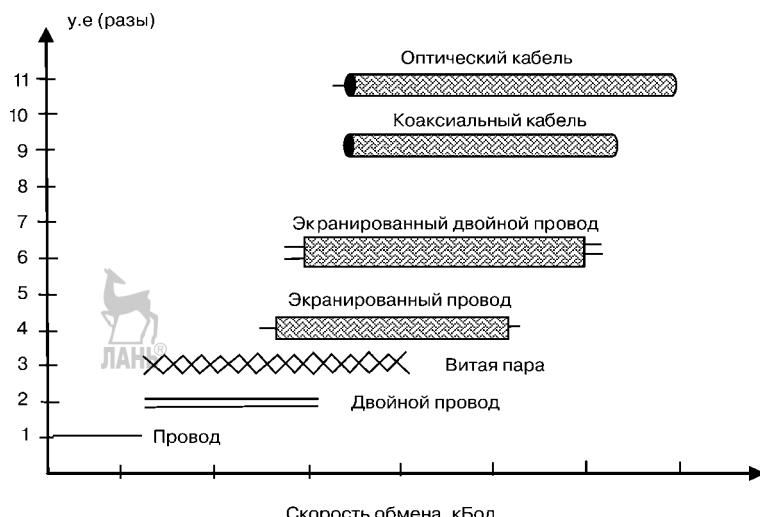


Рис. 11.78
Стоимостные и
эксплуатационные
характеристики
различных линий
связи

низких скоростях обмена, не более 10–20 Кбит/с. При более высоких скоростях передачи данных применяются витые пары и экранирование, при этом уменьшается паразитное электромагнитное излучение. В случае высоких скоростей обмена и малой мощности сигнала целесообразен коаксиальный кабель. При этом важно учитывать удельные электрические характеристики канала связи, такие как сопротивление (Ом/м), затухание (dB/m), задержку распространения (нс/м), допустимую максимальную длину линии, а также маршрут прокладки линии связи в автомобиле и максимальную длину отводов к узлам (для шинной топологии).

На рис. 11.78 показано примерное соотношение между стоимостными и эксплуатационными характеристиками различных линий связи.

Подуровни MDI и PMA. В автомобильных мультиплексных системах сигналы передаются на относительно высокой частоте и имеют малую мощность. С учетом этого для соединителей (разъемов) важными параметрами на подуровне MDI являются переходное сопротивление контактов, максимальная частота канализации, возможность подключения экрана. На подуровне PMA физического уровня определяются характеристики шинных драйверов (формирователей) и приемников.

Емкость передающей линии и токоформирующая способность источника сигналов ограничивают длину линии, при которой возможна надежная передача. Так, ТТД-формирователь может надежно работать в линии, длина которой не превышает 70 см. Для расширения диапазона передачи используются специализированные интегральные микросхемы — линейные формирователи (драйверы) и линейные приемники (сетевые адаптеры). Эти устройства подключаются к линии.

Выпускаются разные типы формирователей: шинные формирователи RS-232 для однопроводной линии, которые имеют низкую скорость передачи (менее 20 Кбит/с) и наибольшую допустимую длину для линии (менее 15 м); дифференциальные формирователи RS-485, обеспечивающие высокую скорость передачи данных (до 10 Мбит/с) и длину линии до 1 км.

Сигналы на физическом уровне (подуровень PLS). На подуровне PLS рассматриваются вопросы представления битов, синхронизации, двоичное кодирование.

Когда компьютеры и терминалы разделены большими расстояниями, экономически более выгодно ввести временную настройку в сам сигнал (так называемый самосинхронизирующий код) вместо того, чтобы использовать отдельный канал синхронизации. При использовании кодов, не являющихся самосинхронизирующими, возникает следующая проблема: синхросигнал и данные могут быть изменены, когда распространяются по отдельным каналам.

Синхросигнал ускоряется или замедляется относительно информационного сигнала, это означает, что у приемника возникают трудности с настройкой на прием информационного сигнала, его захватом.

При использовании самосинхронизирующего кода принимающее устройство может периодически проверять себя, чтобы убедиться, что оно опрашивает линию точно в тот самый момент, когда некоторый бит поступает

в приемник. Это требует (в идеальных условиях), чтобы линия очень часто меняла свое состояние. Самые лучшие синхронизирующие коды — это те, при использовании которых состояние линии часто меняется, поскольку такие изменения состояния (например, перепад напряжения) позволяют приемнику продолжать настраиваться на сигнал.

Идея заключается в том, чтобы иметь код с регулярными и частыми изменениями (переходами) уровней сигнала в канале. Переходы осуществляют разделение двоичных элементов данных (единиц и нулей) в приемнике, и логические схемы постоянно отслеживают изменения состояния для того, чтобы выделять единицы и нули из потока битов для целей настройки. Стробирование обычно производится приемником с более высокой скоростью, чем скорость изменения данных, чтобы более точно определить элементы данных.

На рис. 11.79 показаны способы представления битов в системе кодирования, применяемые в мультиплексных сетях (T — время для представления одного бита).

Заметим, что реальные сигналы не являются такими прямоугольниками с крутыми фронтами, как показано на рисунке.

Для кода без возвращения к нулю (NRZ-код) уровень сигнала остается постоянным для каждой последовательности одноименных битов. В этом случае уровень сигнала остается низким для бита 0 и возрастает до некоторого высокого уровня напряжения для бита 1 (во многих устройствах для 0 и 1 используются противоположные по полярности значения напряжения).

Код NRZ широко используется для передачи данных вследствие своей относительной простоты и низкой стоимости, обеспечивая очень эффективное использование полосы частот, поскольку может представлять бит для каждого бода (изменения сигнала). Однако его недостатком является отсутствие способности самосинхронизации, поскольку длинные серии идущих

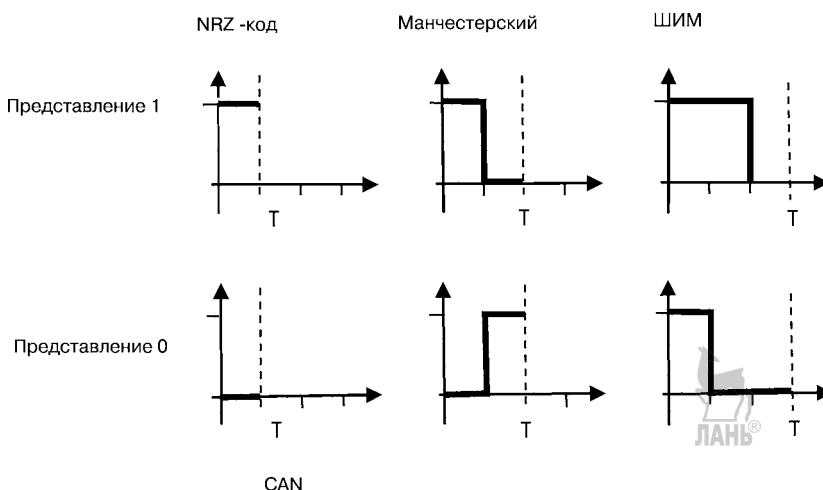


Рис. 11.79
Примеры кодирования бита

подряд единиц и нулей не приводят к изменениям состояния сигнала в канале. Вследствие этого может произойти рассогласование (дрейф) таймера приемника по отношению к поступающему сигналу и несвоевременный опрос линии, передатчик и приемник могут фактически утратить взаимную синхронизацию.

NRZ-код может быть полярным и биполярным в зависимости от конкретной реализации.

Код с возвращением к нулю (RZ-код) предусматривает, что в представлении каждого бита сигнал меняется по меньшей мере один раз. Поскольку RZ-коды обеспечивают изменение состояние для каждого бита, они обладают очень хорошими свойствами синхронизации. Основной недостаток RZ-кода состоит в том, что он требует двух переходов (изменений) сигнала для каждого бита. Следовательно, RZ-код потребует вдвое больше скорости (в бодах) по сравнению с обычным. В качестве примера RZ-кодов на рис. 11.79 показаны манчестерский код и широтно-импульсная модуляция.

В автомобильной мультиплексной шине CAN используется NRZ-код.

Управление доступом к среде (подуровень MAC). Локальные сети обычно являются равноранговыми, т. е. статус всех узлов одинаковый, имеют равные права на доступ в сеть. С другой стороны, только один узел может передавать данные в сеть в любой конкретный момент времени. Необходим механизм для контроля за доступом к шине (среде), который и реализуется на подуровне MAC.

Метод доступа CSMA/CD (Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection) — метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий. Если то или иное устройство готово к передаче данных в сеть, оно выдает на шину запрос для проверки того, не передаются ли уже по сети какие-либо данные. Когда сеть занята, контроллер ожидает в течение некоторого произвольного интервала времени, прежде чем выполнить еще одну попытку передать данные. Если линия сети все еще занята, контроллер будет ожидать несколько дольше до следующей попытки. Поскольку каждый контроллер в сети находится в режиме ожидания в течение произвольного, случайно выбранного интервала времени, вероятность того, что все устройства примут предназначенные для них сообщения, возрастает.

Для того чтобы исключить столкновения, контроллер, передавая данные, непрерывно контролирует состояние шины. Если на шине уже имеются данные, передаваемые не им, он приходит к заключению, что столкновение, скорее всего, уже произошло, и приостанавливает передачу. Поскольку тот контроллер, который передал данные, вызвавшие столкновение, постоянно запрашивает шину, он тоже прекращает передачу. Далее оба контроллера находятся в режиме ожидания произвольный интервал времени, прежде чем попытаются снова передать весь блок данных. Выбранная в случайному порядке длительность ожидания повышает вероятность того, что оба контроллера смогут передать данные через сеть без повторного столкновения. Если оно все же происходит, эта длительность увеличивается.

Метод доступа CSMA/CD-A отличается от CSMA/CD наличием арбитража при коллизиях, что используется в CAN, VAN, VNP и в других автомобильных

Таблица 11.8

Протоколы обмена данными в автомобильных мультиплексных системах

	A-BUS	CAN	J1567	J1850	J2058	VAN	J2106
Класс SAE		B, C	B	B	A		C
Разработчик	VW	ISO, Bosch	Chrysler	Ford, GM, Chrysler	Chrysler	ISO	GM
Линия связи	Провод	Витая пара, оптическая	Витая пара	Витая пара	Провод	Витая пара	Витая пара, оптическая
Код	NRZ	NRZ + вставка бита	NRZ	ШИМ	NRZ	MAN	NRZ + вставка бита
Доступ к среде	Недетерм.	Недетерм.	Недетерм.	Недетерм.	Детерм.	Недетерм.	Недетерм.
Скорость обмена в секунду	500 кбит	1 Мбит	8 кбит	42 кбит	1 кбит	Определяет пользователь	2 Мбит

шинных протоколах. Обмен данными в автомобильных мультиплексных системах может производиться по различным протоколам, которые сведены в табл. 11.8.

Каждый пакет данных, передаваемый по сети, снабжается приоритетом. Если несколько узлов одновременно попытаются вести передачу данных, узлы, передающие данные с более низкими приоритетами, обнаружат коллизию и прекратят передачу. Узел, данные с которого имеют наивысший приоритет, продолжит передачу.

Пропускная способность сети с побитным арбитражем при коллизиях теоретически может быть использована на 100%. На практике это недостижимо из-за задержки передачи пакетов данных с низким приоритетом.

Недостатком метода доступа CSMA/CD является прекращение передачи всех сообщений при обнаружении коллизии. Метод CSMA/CD-A позволяет продолжить без остановки передачу наиболее важной информации.

Реализация метода CSMA/CD-A предусматривает, что время задержки для всей линии связи составляет малую часть от времени передачи одного бита информации. Это ограничивает максимальную длину линии для заданной скорости передачи. Например, максимальная длина электрической линии для реализации CAN-протокола со скоростью передачи 1 Мбит/с не более 40 м.

**ПРОТОКОЛ CAN
для автомобильных мультиплексных систем**

Протокол CAN был разработан инженерами фирмы Bosch GmbH для автомобилей. Он соответствует международным стандартам ISO 11898 и ISO 11519, практически используется некоторыми производителями электронного оборудования. Протокол CAN признан автомобильными производителями США и Европы, применяется на современных легковых автомобилях.

лях, грузовиках, автобусах, сельскохозяйственном транспорте, в морском оборудовании, для автоматизации производства.

Протокол CAN поддерживает метод доступа CSMA/CD-А к сети с равноранговыми узлами. Пакет данных имеет размер не более 8 байт и передается по последовательной шине. 15-битовый циклический контроль избыточности обеспечивает высокий уровень целостности данных.

Используемый в настоящее время протокол CAN версии v2.0 состоит из двух частей: версия v2.0A со стандартным форматом кадра и v2.0B с расширенным форматом кадра. Версия v2.0A идентична предыдущей версии v1.2 и использует 11-битовое поле идентификатора. В версии v2.0B поле идентификатора — 29 бит. Расширенный формат кадра необходим для совместимости с существующим коммуникационным протоколом J1850. Функции протокола CAN реализуются в микропроцессоре со встроенным контроллером CAN.

Первыми на рынке появились контроллеры CAN с внешними драйверами для шины. В настоящее время производится несколько типов CAN-контроллеров, которые можно разделить на 3 группы в зависимости от поддержки ими расширенного формата кадра:

- контроллеры v2.0A — только стандартный формат, не могут работать в сети, где передаются и кадры расширенного формата;
- контроллеры v2.0B, пассивные — только стандартный формат, но могут работать в сети, где передаются и кадры расширенного формата;
- контроллеры v2.0B, активные — операции с кадрами стандартного и расширенного форматов.

Контроллеры CAN классифицируются так же, как полные или базовые, в зависимости от организации буферизации данных. Полный CAN-контроллер имеет некоторое количество (обычно 14) специализированных буферов для временного хранения сообщений. При инициализации CAN-контроллера можно сконфигурировать его, указав, какой кадр будет поступать в какой буфер.

Архитектура протокола CAN. Международная организация стандартизации для протоколов CAN ISO 11898 (высокая скорость обмена) и ISO 11519 (низкая скорость обмена) регламентирует уровневую структуру в соответствии со стандартами LAN (локальные сети) ISO 8802-2 и 8802-3. Протокол CAN относится к двум нижним уровням модели ВОС, как показано на рис. 11.80.

На физическом уровне определяются электрические характеристики соединителей, шинных адаптеров, двоичное кодирование, синхронизация. Он разделен на:

- MDI (medium dependent interface) — подуровень интерфейса, зависимого от физического носителя (передающая среда);
- PMA (physical medium attachment) — подуровень подсоединения к физической среде;
- PLS (physical signaling) — сигналы на физическом уровне.

На канальном уровне определяются формат кадра, обнаружение и передача ошибок во время трансляции, автоматическая ретрансляция данных, фильтрация. Он разделен на подуровни:

- MAC (medium access control) — управление доступом к среде;
- LLC (logic link control) — управление логическим каналом.

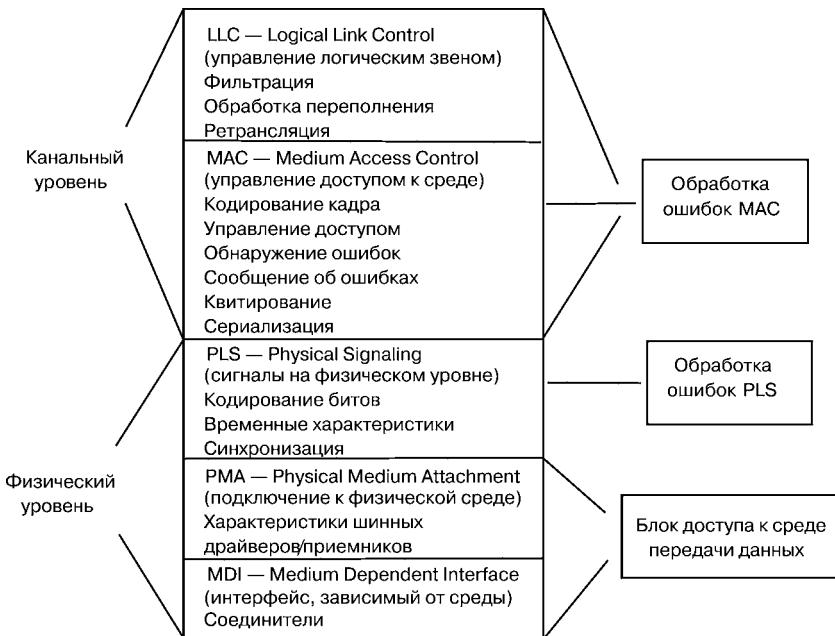


Рис. 11.80
Уровневая архитектура CAN

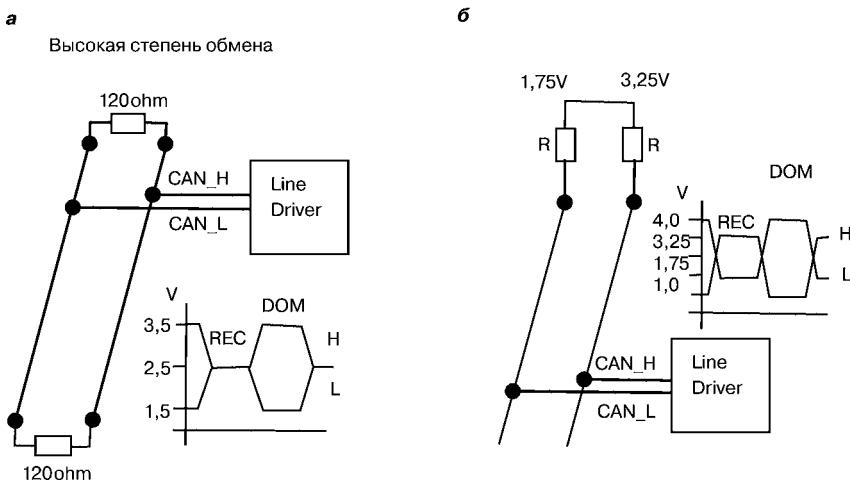


Рис. 11.81
Подключение к шине CAN

Физический уровень контролируется функцией супервизора «контроль шины», например выявляются короткие замыкания или обрывы на линии.

Канальный уровень контролируется функцией супервизора «ограничение распространения последствий неисправности», например различаются кратковременные сбои и долговременные неисправности.



Передающая среда и нижние подуровни протокола CAN. Протокол CAN главным образом предназначен для сетей с шинной топологией и электрическими проводами в качестве канала связи (передающей среды). Могут применяться и другие передающие среды, способные поддерживать состояния высокого/низкого уровней, что необходимо для осуществления побитового арбитража.

Международная организация стандартизации определила стандарт ISO 11519-2 для шин CAN со скоростью обмена до 125 Кбит/с и ISO 11898 для скорости обмена выше 125 Кбит/с. Они различаются только спецификациями нижних подуровней MDI и PMA физического уровня протокола CAN в вопросах подключения к передающей среде (шине).

Подуровни MDI и PMA иногда называют блоком MAU — medium access unit (блоком доступа к среде передачи данных). На рис. 11.81 показано подключение к шине CAN в соответствии с этими стандартами.

Скоростной канал связи образован двухпроводной линией (рис. 11.81 a), к обоим концам которой подключены характеристические сопротивления для подавления отражений. Это дифференциальная линия с подавлением синфазных помех. За счет низкого характеристического сопротивления линия имеет хорошую помехоустойчивость, особенно если использована витая пара.

Медленный канал связи также выполнен двухпроводным (рис. 11.81 b). Концы линии через сопротивление $R = 2,2 \text{ к}\Omega$ подключены к источникам напряжения различной величины. Преимущество такой линии заключается в некоторой информационной избыточности: данные, по сути, дублируются и передаются независимо по двум проводам. В случае повреждения одного провода сетевые адаптеры могут быть реконфигурированы для работы в однопроводной линии, помехозащищенность при этом ухудшится. За счет паразитной связи между проводами линия более чувствительна кискажениям и не может быть использована для высокоскоростного режима.

Подуровень PMA (подключение к физической среде) определяет характеристики шинных драйверов и приемников. При этом линии шины CAN могут находиться в одном из двух состояний: доминирующего (dominant) и недоминирующего (recessive) уровня. Если один из узлов устанавливает шину в состояние доминирующего уровня, оно будет достигнуто независимо от состояния остальных узлов. Эти состояния определяются дифференциальным напряжением между проводниками шины, называемыми CAN_H и CAN_L (см. рис. 11.82).

Величина дифференциального напряжения для состояния доминирующего уровня составляет 1,5–3 В, для состояния недоминирующего уровня — $-0,5...+0,05$ В.

Характеристики шинных драйверов задаются стандартом ISO 11898, где указаны все электрические спецификации. Например, максимальное число подключаемых к шине узлов не должно превышать 30.

На рис. 11.83 схематично показано подключение линейного драйвера к скоростной шине.

Когда логический уровень сигнала на входе T_x равен «1», оба транзистора в выходном каскаде закрыты и выход драйвера находится в высоко-



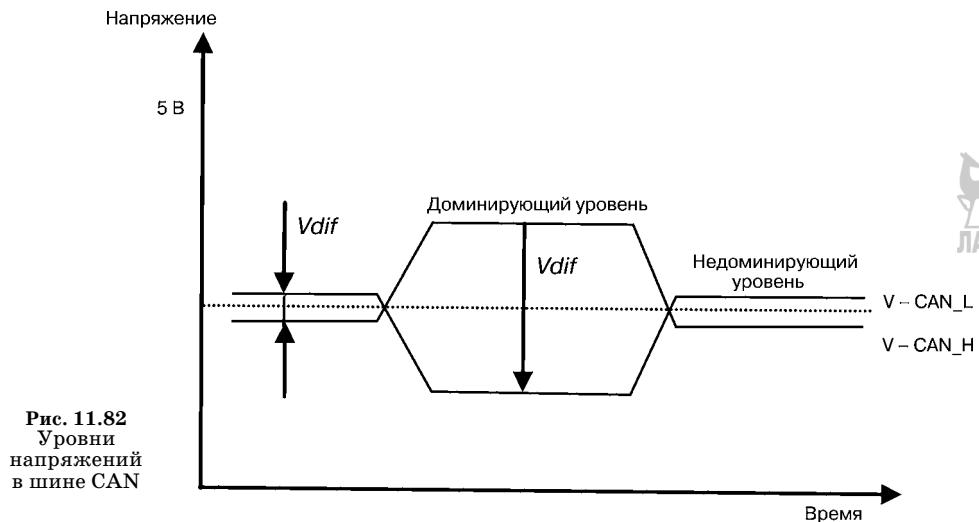


Рис. 11.82
Уровни
напряжений
в шине CAN

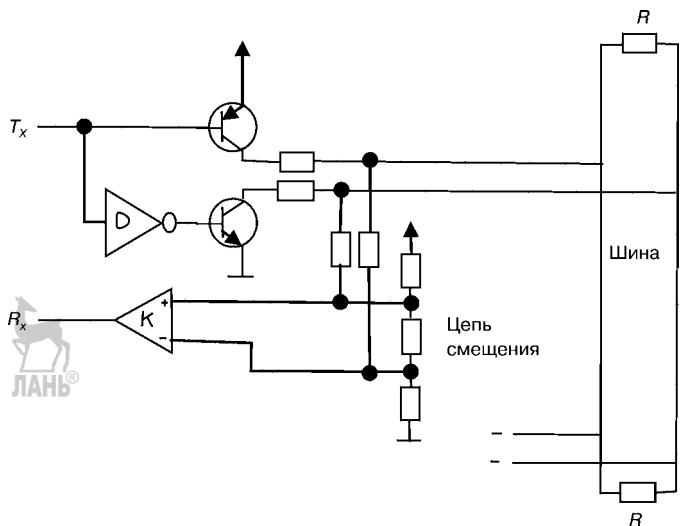


Рис. 11.83
Подключение драйвера
к шине

импедансном состоянии. Шина находится в состоянии недоминирующего уровня, дифференциальное напряжение примерно равно нулю, напряжение смещения около 2,5 В.

При подаче сигнала «0» на вход T_x оба транзистора отпираются, дифференциальное напряжение становится равным около 2,5 В, шина переходит в состояние доминирующего уровня.

Наличие цепи смещающего напряжения гарантирует смену полярностей сигналов на входах компаратора « K » при переходе шины от одного состояния к другому.

R — характеристическое сопротивление двухпроводной линии для подавления отражений. Это дифференциальная линия с подавлением синфазных помех. За счет низкого характеристического сопротивления она имеет

хорошую помехоустойчивость, особенно если использована витая пара. R_x — входное сопротивление компаратора «К» в цепи смещения. Наличие цепи смещающего напряжения гарантирует смену полярностей сигналов на входах компаратора «К» при переходе шины из одного состояния к другому.

Подуровень PLS. На подуровне PLS реализуются двоичное кодирование и синхронизация, определяется время передачи бита.

Протокол CAN использует двоичное кодирование (NRZ-код), т. е. во время передачи бита не может быть никаких переключений уровня, которые могли бы использоваться для синхронизации. Это предъявляет высокие требования к стабильности частоты генераторов (используются кварцевые). Приходится вводить разделительные сигналы и последовательности однотипных битов для облегчения синхронизации.

Время передачи одного бита схематично представлено на рис. 11.84.

В течение этого времени выполняются функции по управлению шиной, такие как синхронизация ЭБУ, компенсация запаздывания в линии, позиционирование момента опроса (стробирование). Длительность отдельных сегментов в квантах программируется времязадающей логикой адаптеров CAN. Длительность кванта связана с разрешающей способностью подуровня PLS.

Сегмент SYNC SEG используется для синхронизации подключенных к шине ЭБУ. В этом сегменте предлагается изменение уровня сигнала (например, с «0» на «1»); его длительность всегда равна одному кванту.

Сегмент PROP SEG служит для компенсации временных задержек при распространении сигнала в линии и прохождении его через адаптеры.

Сегменты PHASE SEG1 и PHASE SEG2 компенсируют ошибки фазы, могут быть удлинены или укорочены при ресинхронизации.

Момент опроса — точка времени, когда состояние шины интерпретируется как значение соответствующего бита.

Синхронизация производится в момент перехода шины из состояния недоминирующего уровня в состояние доминирующего уровня. Этот переход всегда должен совершаться в течение сегмента SYNC SEG. Для компенсации различных сбоев или задержки в линии используется сокращение длительности сегмента PHASE SEG2 по отношению к номинальному значению или увеличение длительности сегмента PHASE SEG1. Изменение длительности сегментов программируется в пределах 1–4 квантов, но не более значения PHASE SEG1.

На рис. 11.85 номинальные значения длительностей сегментов составляют: PROP SEG — 6 квантов, PHASE SEG1 и PHASE SEG2 — по 7 квантам. При нулевой фазовой ошибке ($c = 0$) фронт сигнала поступает в течение сегмента SYNC SEG без всякой компенсации длительности.

При отрицательной фазовой ошибке ($c < 0$), при ее накоплении, фронт сигнала может прийти после стробирования. Для предотвращения этого сокращена длительность сегмента PHASE SEG2 предыдущего бита с 7 до 6 квантов.

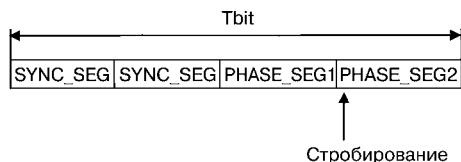


Рис. 11.84
Время передачи бита

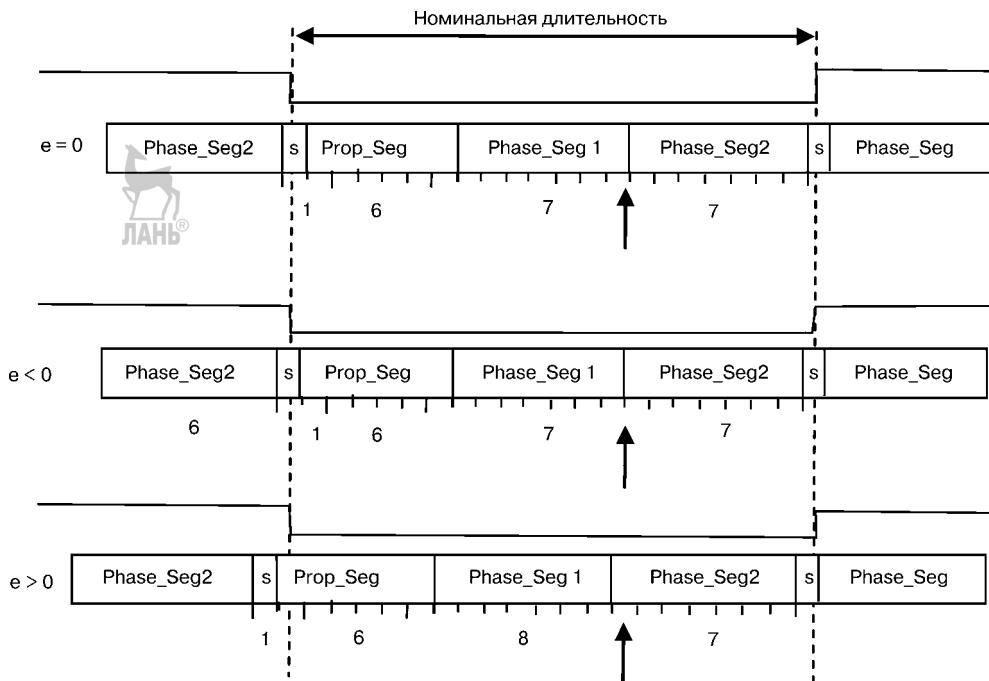


Рис. 11.85
Синхронизация передачи бита

При положительной фазовой ошибке ($c > 0$) фронт сигнала может пройти до момента стробирования при ее накоплении. Для предотвращения этого увеличена длительность сегмента PHASE_SEG1 с 7 до 8 квантов.

Подуровень MAC (Управление доступом к среде в CAN). На подуровне MAC осуществляется упаковка данных в кадры формата CAN с различными управляющими битами, сериализация, добавление разделительных битов, арбитраж, обнаружение ошибок и перегрузки, проверка подтверждений.

Передача информации в сети CAN осуществляется кадрами четырех форматов:

- кадры данных — для передачи информации от узла к узлу;
- кадры запроса — для запроса данных одним узлом у другого;
- кадры ошибки — передаются узлом, обнаружившим какую-либо ошибку;
- кадры перегрузки (переполнения) — используются передатчиком для приостановки выдачи кадров в сеть.

Между кадрами вводится межкадровое пространство, и при передаче кадров используются пять процедур управления:

- вставка дополнительных битов для синхронизации;
- побитовый арбитраж;
- обнаружение ошибок;
- контроль цикличности избыточным кодом;
- сигнализация ошибок.

Кадр данных служит для передачи сообщений по шине (табл. 11.9).

Стандартный формат начинается от стартового бита SOF (start frame — начало кадра). Далее следует арбитражное поле с 11-битовым идентификатором, затем индикатор запроса. Индикатор показывает, какой это кадр — информационный или кадр запроса, в последнем случае отсутствует поле данных.

Управляющее поле содержит 1 бит идентификатора расширения, указывающий, расширенный это формат или стандартный; 1 бит зарегистрирован за будущими возможными расширениями, оставшиеся 4 несут информацию о количестве байтов данных в кадре в поле данных, где может быть от 0 до 8 байтов (64 бита).

За полем данных следует 15-битовое поле контроля циклически избыточным кодом (CRC), используемое для обнаружения ошибок, и разделитель CRC. Далее — поле подтверждения ACK и разделитель ACK. Передатчик устанавливает бит ACK в состояние недоминирующего уровня («1»). Этот бит переписывается в состояние доминирующего уровня («0») тем приемником, который принял сообщение правильно. Передающий узел этим известдается, что хотя бы одним узлом его данные приняты. Сообщение подтверждается приемником независимо от того, ему оно адресовано или нет.

Поле конца кадра является концом сообщения. Между двумя соседними кадрами обязательно вставляется поле разделителя. Если это последний кадр в сообщении, шина переходит в режим ожидания.

В табл. 11.10 дана начальная часть кадра данных расширенного формата с 29-битовым идентификатором.

Биты идентификатора запроса и индикатора расширенного формата находятся в состоянии недоминирующего уровня. Это значит, что кадр стандартного формата имеет более высокий приоритет по отношению к кадру расширенного формата при одинаковом содержании первых 11 битов поля идентификатора.



Кадр стандартного формата

Таблица 11.9

1	SOF	1	CRC-разделитель
11	Идентификатор	1	Поле ACK
1	Индикатор запроса	1	Разделитель ACK
6	Управляющее поле	7	Конец кадра
0–64	Данные	3	Межкадровое пространство
15	CRC		

Таблица 11.10

Начальная часть кадра данных расширенного формата

1	SOF	18	Расширение идентификатора
11	Идентификатор	1	Индикатор запроса
1	Дополнительный бит запроса	6	Управляющее поле
1	Признак расширения идентификатора	0–64	Данные

Таблица 11.11
Кадр запроса

1	SOF
11	Идентификатор
1, недоминантный	Индикатор запроса
6	Управляющее поле
0–64	Данные
15	CRC
1	CRC-разделитель
1	ACK
1	Разделитель ACK
7	Конец кадра
3	Межкадровое пространство

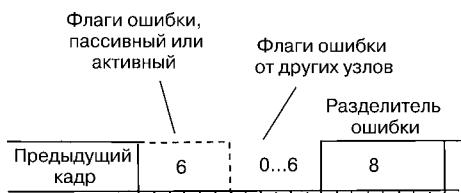


Рис. 11.86
Кадр ошибки

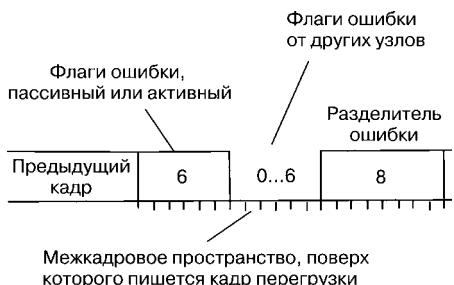


Рис. 11.87
Кадр перегрузки

поля — флаг перегрузки и разделитель. По структуре кадр перегрузки совпадает с кадром ошибки, но отличается временем передачи. Кадр ошибки передается немедленно после ее обнаружения одним из узлов, а кадр перегрузки передается после окончания текущего кадра, игнорируя межкадровое пространство.

Появление кадра ошибки в современных сетях CAN — событие маловероятное. Эта опция сохранена для совместимости с более медленными CAN — контроллерами прежних разработок, например с пионером — Intel:80526.

Кадр запроса отличается от кадра данных отсутствием поля данных (табл. 11.11).

Бит поля запроса находится в состоянии недоминирующего уровня. Кадр запроса используется для запроса данных одним узлом от другого. В ответ узел-адресат посыпает кадр данных с таким же идентификатором.

Кадр ошибки передается узлом, обнаружившим какую-либо неисправность. Он поступает на все узлы и состоит из двух полей — флага ошибки и разделителя. Флаг ошибки может быть активным или пассивным, активный состоит из 6 последовательных битов в состоянии доминирующего уровня (рис. 11.86), пассивный — из 6 битов недоминирующего уровня.

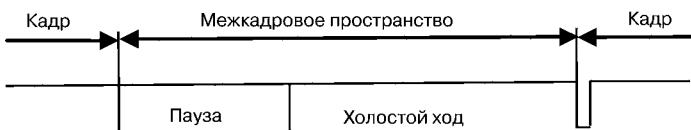
Разделитель ошибок состоит из 8 битов в состоянии недоминирующего уровня. После обнаружения флага ошибки узлы начинают выдавать на шину биты недоминирующего уровня, формируя разделитель. При обнаружении ошибки кадр ошибки может быть послан поверх других данных.

Кадр перегрузки (переполнения) посыпается на шину подуровнями MAC или LLC (рис. 11.87) при обнаружении перегрузки или некоторых ошибок.

При получении кадра перегрузки узел задерживает передачу очередного кадра данных на шину, давая приемнику время выполнить его задание. Кадр перегрузки содержит два

поля — флаг перегрузки и разделитель. По структуре кадр перегрузки совпадает с кадром ошибки, но отличается временем передачи. Кадр ошибки передается немедленно после ее обнаружения одним из узлов, а кадр перегрузки передается после окончания текущего кадра, игнорируя межкадровое пространство.

Узел в активном режиме или был приемником последнего сообщения



Узел в пассивном режиме или был отправителем последнего сообщения

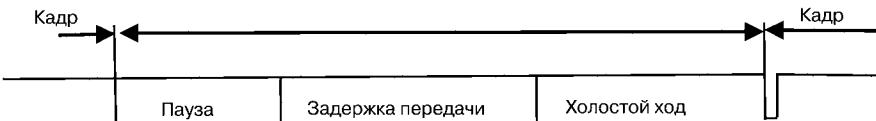


Рис. 11.88
Межкадровое пространство

Более современные контроллеры — Intel: 82527; Philips: SJA1000; Siemens: 81C90; Siemens: 81C91.

На подуровне MAC между окончанием предыдущего и началом следующего кадра обязательно проходит некоторое время, которое называется межкадровым пространством. Перед кадрами ошибок и перегрузки его нет.

Пространство между кадрами может содержать поля: «межкадровое пространство», «холостой ход шины», «задержка передачи». Для узлов в активном режиме (рис. 11.88) межкадровое пространство содержит паузу и холостой ход.

Если узел находится в пассивном режиме и является передатчиком последнего кадра по мультиплексной шине данных, он добавляет 8 битов недоминирующего уровня («задержка передачи») в межкадровое пространство. Если другой узел начнет передачу данных в это время, то узел в режиме пассивной ошибки станет приемником следующего кадра, вместо того чтобы продолжить передачу. Тогда узел в режиме пассивной ошибки присвоит всем передаваемым им кадрам более низкий приоритет, чем у кадров, передаваемых узлами в режиме активной ошибки.

В протоколе CAN задействован NRZ-код (non-return-to-zero). При этом эффективно используется частотная полоса линии связи, но если в последовательности много битов одного значения, возможно нарушение синхронизации. Для предотвращения этого в последовательность, состоящую из 5 и более одинаковых битов, вставляются дополнительные синхронизирующие биты (см. рис. 11.89), в приемнике они автоматически убираются.

Кадр всегда передается начиная со стартового бита (SOF). В пределах поля первыми идут биты, несущие наиболее важную информацию. Побитовый арбитраж является особенностью протокола CAN.

Мультиплексная система, подчиняющаяся CAN-протоколу, является равноранговой. Любой узел имеет право на доступ к шине, когда она свободна. Признаком этого является обнаружение узлом межкадрового пространства.

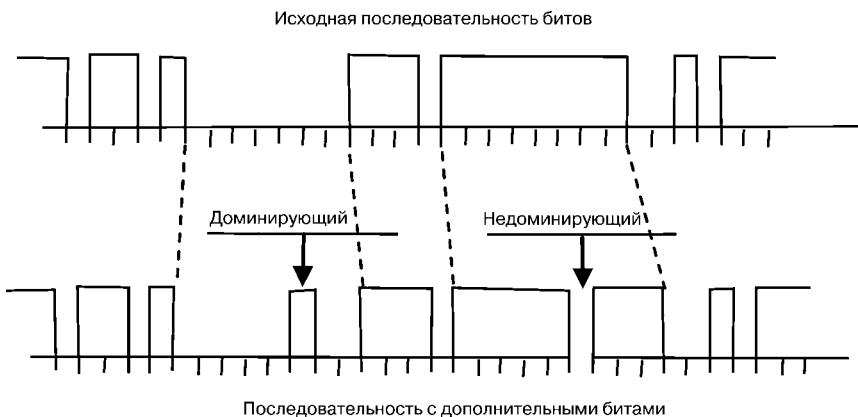


Рис. 11.89
Введение дополнительных битов для синхронизации

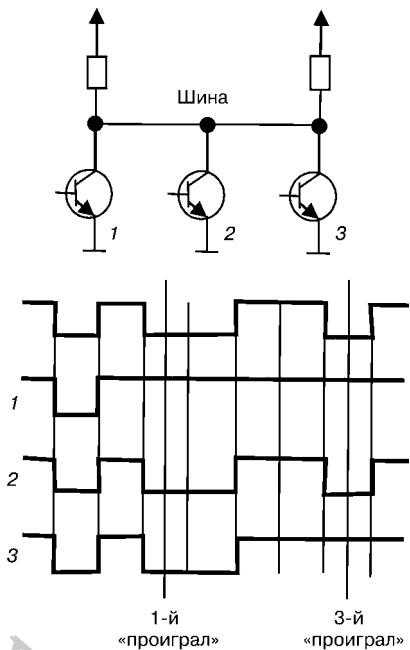


Рис. 11.90
Побитовый арбитраж

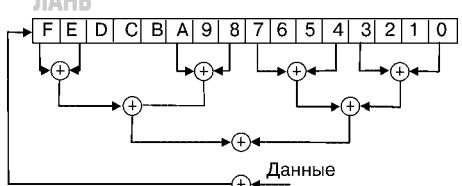


Рис. 11.91
Схема включения регистра

Приоритет сообщения определяется 11-битовым идентификатором и следующим за ним битом индикатора запроса. Идентификатор, содержащий меньшее двоичное число, имеет более высокий приоритет.

Приоритеты устанавливаются за различными событиями на этапе проектирования и не могут быть изменены динамически. Конфликт при попытке доступа нескольких узлов к шине разрешается побитовым арбитражем идентификаторов кадров, передаваемых конфликтующими узлами.

На рис. 11.90 показаны три узла, пытающиеся одновременно получить доступ к сети CAN.

Для первого узла идентификатор 011111..., для второго — 0100110..., для третьего — 0100111... Первые две цифры в идентификаторах совпадают, все три узла продолжают передавать информацию (в данном случае свои идентификаторы) на шину до прихода третьей цифры, при этом шина будет установлена в доминирующее состояние «0». Далее узел 1 прекратит передачу, так как передаваемая им цифра недоминирующего уровня «1» отличается от нулевого состояния шины. Узлы 2

и 3 продолжат передачу до седьмого бита. В этот момент времени передаваемый узлом 3 бит «1» не совпадает с состоянием шины «0» и узел 3 отключится, передачу продолжит только узел 2. При таком побитовом арбитраже сохраняется первая часть сообщения и наиболее важная информация с более высоким приоритетом передается без перерыва, «проигравшие» узлы автоматически становятся приемниками для сообщений с более высокими приоритетами.

При побитовом арбитраже даже при сильной загрузке коммуникационной шины и невозможности отправить все сообщения в данное время отправляются наиболее важные.

Неразрешимые конфликты могут возникнуть на шине, если в кадрах запроса совпадают идентификаторы, но указано разное число битов в требуемых данных. Для избежания конфликтов в пределах системы эти числа должны быть одинаковыми.

Протокол CAN, в отличие от других, не использует квитирование сообщений. Вместо этого он сигнализирует об обнаруженных ошибках. В протоколе имеется пять способов обнаружения ошибок:

- **контроль циклически избыточным кодом (CRC):** передатчик добавляет в кадр дополнительные биты в поле CRC, используя образующий полином и содержимое кадра. На принимающей стороне определяется код CRC и сравнивается с переданным. Отсутствие совпадения определяется как ошибка CRC;
- **проверка кадра:** проверяются форматы полей кадра, обнаруженные ошибки называются ошибками кадра;
- **определение ошибки ACK:** приемник, получивший информацию, устанавливает бит ACK в доминантное состояние. Передатчик, не получивший подтверждения в такой форме, уведомляется об ошибке в кадре или об отсутствии приемников.

В протоколе CAN имеются две процедуры обнаружения ошибок на битовом уровне:

- **мониторинг шины:** узел может контролировать собственное сообщение при передаче и обнаружить несоответствие между тем, что он передает, и тем, что приходит к приемнику. Исключением является посылка недоминантных битов при арбитраже или бита ACK. Это позволяет отличать глобальные ошибки от локальных ошибок передатчика;
- **определение ошибок при вводе дополнительных битов синхронизации:** ошибка определяется при получении приемником шести одинаковых последовательных битов.

Первые три из перечисленных способа реализуются на уровне сообщения (кадра), два последних — на битовом уровне.

В протоколе CAN применяется контроль циклически избыточным кодом CRC, для чего используется полином $x^{15} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + 1$, генерирующий двоичную псевдослучайную последовательность максимальной длины. Аппаратно или программно организуется сдвигающий 16-разрядный регистр с обратными связями через схемы «исключающее ИЛИ» (сумма по модулю 2) в соответствии с коэффициентами образующего полинома (рис. 11.91).

Регистры на стороне приемника и передатчика исходно устанавливаются в одинаковые состояния. Через регистр проходят биты сообщения начиная со старших. После этого содержимое регистра становится циклически избыточным кодом. При отсутствии ошибок коды приемника и передатчика совпадают. При ошибке бит ACK остается недоминантным.

Прокол CAN предусматривает сигнализацию ошибок. Если узел обнаруживает ошибку, используя один из приведенных выше способов, текущая передача сообщений приостанавливается, на шину выдается флаг ошибки. Другие узлы не принимают прерванное сообщение.

При обнаружении ошибки CRC кадр ошибки начинает передаваться после разделителя CRC. Для других видов ошибок кадр ошибки начинает передаваться со следующего бита после обнаружения ошибки.

После прерывания ошибочного сообщения передатчик пытается его повторить, как только шина освободится.

Неисправные узлы могли бы заблокировать всю шину своими кадрами ошибок, но протокол CAN имеет средства для различия случайных и повторяющихся (постоянных) ошибок, локальных и глобальных. Для этого делается статистическая оценка поведения узла по числу кадров в ошибочных ситуациях, и постоянно неисправный узел может быть выключен, чтобы сохранить работоспособность шины в целом. В некоторых системах сигнализация ошибок используется для записи кодов ошибок в память бортовой диагностики.

ПОДУРОВЕНЬ LLC

Возможности подуровня. Подуровень LLC соответствует верхней части канального уровня модели ВОС. Здесь решаются вопросы независимо от способов доступа к среде, такие как: решения о принятии сообщения узлом, определение состояния перегрузки, повторение передачи и т. д.

Подуровень LLC обеспечивает пользователя интерфейсом CAN и возможностью выполнять следующие задания:

- передавать данные без квитирования;
- передавать кадр запроса без квитирования.

Взаимодействие между подуровнем LLC и пользователем осуществляется с применением двух типов кадров: данных LLC и запроса LLC (рис. 11.92).

В поле идентификатора содержится 11 битов, 7 наиболее значимых не могут быть одновременно в состоянии «1».

В поле DLC (data length code) содержится 4 бита. Здесь указывается размерность поля данных в байтах. Допустимыми значениями являются 0–8, комбинации цифр 9 и 5 запрещены.

В поле данных может быть до 8 байтов в соответствии со значением DLC. Кадр запроса идентичен кадру данных, но не содержит поля данных.

Поле DLC должно содержать число байтов данных в соответствии с идентификатором.



Рис. 11.92

Форматы кадров подуровня LLC

Решение о принятии сообщения узлом реализуется следующим способом. При необходимости послать сообщение узел передает данные и идентификатор своему шинному драйверу CAN. Здесь сообщение формируется в кадры и передается на шину драйвером, когда шина свободна или в соответствии с приоритетом информации. Все другие узлы шины становятся приемниками этого сообщения. Каждый узел определяет — ему предназначена эта информация или нет. Если «да» — информация принимается, если «нет» — игнорируется. Процедуру такой фильтрации может выполнить и ЭБУ, но для разгрузки ЭБУ в современных протоколах СФТ для мультиплексных систем определение назначения сообщения возложено на адаптеры CAN.

Извещение о перегрузке передается в шину CAN, когда внутренние условия приемника требуют задержки перед принятием следующего кадра. Кадр перегрузки инициируется подуровнем LLC. В результате арбитража передатчик может не передать свое сообщение на шину. Подуровень LLC инициирует ретрансляцию (повторение) данных, пока они не будут отосланы адресату. Доступ передающего узла к шине может быть заблокирован другими сообщениями с более высокими приоритетами. Как должна отрабатываться такая ситуация, решается соответствующим приложением.

Ограничение распространения ошибок. Наиболее важными задачами при ограничении распространения ошибок являются:

- различение временных и постоянных отказов;
- отключение неисправных узлов от шины.

Для этого используются счетчики отказов узла, один — для режима передачи, другой — для приема. При обнаружении ошибки содержимое соответствующего счетчика увеличивается на число в диапазоне 1–8 в зависимости от типа ошибки. После успешной передачи или приема значение в соответствующем счетчике уменьшается на единицу.

Содержимое счетчиков соответствует относительной частоте появления отказов в предыстории. Считается, что узел вышел из строя, если в среднем одно из восьми сообщений передается (принимается) с ошибкой.

Функционирование узлов модифицируется в зависимости от содержимого счетчиков. Узлы могут находиться в одном из трех состояний:

1. *Активная отработка ошибок* (error active). Это нормальный режим работы узла. При обнаружении отклонений узел выдает на шину кадр активной ошибки.

2. *Пассивная отработка ошибок* (error passive). Узел переключается в это состояние, когда содержимое одного из счетчиков превысит 127. При обнаружении отклонений узел посыпает по шине кадр пассивной ошибки.

3. *Отключение от шины* (bus off). В этот режим узел попадает, если содержимое счетчика превысило 255. После отключения узел на работу шины уже не влияет. Узлу может быть разрешено вернуться в активное состояние после инициализации от протокола более высокого уровня (Normal_Mode_Requsct) и прохода по шине 128 последовательностей из 11 небитов.

В мультиплексных системах с высокой скоростью обмена данными топология шины должна быть максимально приближена к линейной для

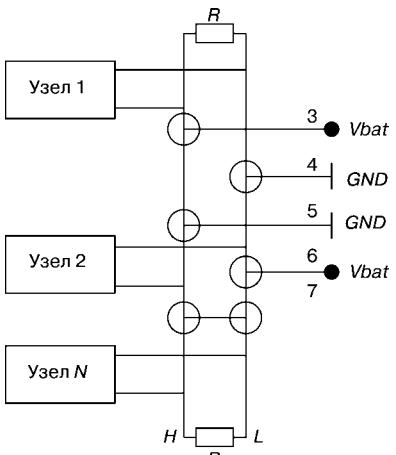


Рис. 11.93
Неисправности шины

уменьшения отражений в кабеле. Ответвления от шины до узлов должны быть как можно более короткими.

Для уменьшения стоячих волн точки подключения узлов к шине следует располагать на одинаковом расстоянии друг от друга, отводы должны иметь различную длину. Например, согласно стандарту SAE J1939/11 для скорости обмена 250 Кбит/с максимальная длина отвода может быть 1 м, минимальное расстояние между точками подключения узлов к шине — 0,1 м.

Во время эксплуатации могут появиться различные неисправности шины, некоторые из них показаны на рис. 11.93; далее приведено описание этих неисправностей и их последствий.

1. Обрыв линии CAN_H. Сеть разбивается на две не связанные друг с другом подсети. Обмен данными между узлами различных подсетей невозможен. В пределах одной подсети обмен сохраняется, но с худшим соотношением сигнал/шум.

2. Обрыв линии CAN_L. Аналогично случаю 1.

3. Замыкание линии CAN_H на напряжение источника питания (аккумулятор). Обмен данными обычно невозможен.

4. Замыкание линии CAN_L на массу. Обмен данными сохраняется, так как напряжение в линии остается в допустимых пределах, но с худшим соотношением сигнал/шум и большим паразитным излучением.

5. Замыкание линии на массу. Обмен данными невозможен.

6. Замыкание линии CAN_L на напряжение источника питания (аккумулятор). Обмен данными обычно невозможен.

7. Замыкание линий CAN_H и CAN_L между собой. Обмен данными невозможен.

8. Разрыв обеих линий в одном месте. Аналогично случаю 1.

9. Отключение концевого резистора. Обмен данными возможен, но с худшим соотношением сигнал/шум за счет увеличения стоячих волн.

10. Обрыв соединителя от узла до линии CAN_H. Данный узел не может участвовать в работе сети.

11. Обрыв соединителя от узла до CAN_L линии. Данный узел не может участвовать в работе сети.

Итак, после появления одних неисправностей процесс обмена данными по шине становится невозможным, после появления других — обмен возможен, но с худшим соотношением сигнал/шум. Здесь не рассмотрено влияние неисправностей на работу шины CAN с низкой скоростью обмена. Эти шины способны сохранять работоспособность после некоторых неисправностей, если шинные драйверы поддерживают однопроводный режим работы. Соотношение сигнал/шум при этом ухудшается.

Для оптимальной работы мультиплексных CAN-систем ЭБУ должны быть защищены от внешних электромагнитных помех, электромагнитное излучение самой шины должно сводиться к минимуму. Общие требования следующие:

- электрическое поле напряженностью 200 В/м в непосредственной близости от автомобиля не должно вызывать сбоев в работе автомобильных автотронных систем;
- напряжение на передающей автомобильной антенне должно быть менее 1 мкВ в диапазоне частот 20–1000 МГц.

Основной проблемой при использовании мультиплексных систем с высокой скоростью обмена данными является излучение электромагнитных помех за счет того, что шинные драйверы узлов работают в ключевом режиме на высокой частоте. Для уменьшения паразитного излучения используют экранирование кабеля, витые пары, включают последовательно дроссели в отводы к узлам. Имеет значение и маршрут прокладки кабеля шины, он должен проходить подальше от оборудования, чувствительного к электромагнитным помехам, ближе к заземленным объектам.

Иногда в мультиплексных системах уменьшают скорость нарастания фронтов сигналов. Это приводит к некоторому уменьшению паразитного электромагнитного излучения. С другой стороны, уменьшение крутизны фронтов вызывает потерю скорости передачи, уровень сигнала нашине более продолжительно будет находиться в неопределенном состоянии между 0 и 1, что может дать, наоборот, увеличение уровня излучаемых шумов. Для скоростных мультиплексных систем уменьшение крутизны фронтов вряд ли целесообразно.

К надежности мультиплексных систем в автомобиле предъявляются высокие требования, автомобиль является источником повышенной опасности и должен работать надежно в течение всего срока эксплуатации. Современные мультиплексные системы таким требованиям соответствуют. Например, шина CAN, работающая со скоростью передачи 1 Мбит/с при средней загрузке шины 50%, средней длине сообщения 80 бит, за полный срок эксплуатации 4000 ч пропустит $9 \cdot 10^{10}$ сообщений. Статистическая оценка для числа неопознанных неправильных сообщений за время эксплуатации составит менее 10^{-2} .

11.7. СОВРЕМЕННАЯ АВТОМОБИЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Автомобильная информационно-диагностическая система является составной частью современного автотранспорта и предназначена для сбора, обработки, хранения и отображения информации о режиме движения и техническом состоянии автомобиля, а также окружающих его внешних факторов.

Сегодня система «водитель — автомобиль — дорога — среда» начинает рассматриваться как единое целое. Улучшение движения на перегруженных автомагистралях возможно, если водитель будет иметь оперативную информацию о состоянии дороги, управляемого автомобиля и транспортных

потоках. Правительства различных стран финансируют проекты, направленные на увеличение безопасности, эффективности, пропускной способности, уменьшение загрязнения окружающей среды на крупных автомагистралях. Иногда в связи с этим говорят о концепции интеллектуальной транспортной системы. В США и Японии такой проект называется ITS (intelligent transportation system), в Европе — Telematic.

Проекты включают создание инфраструктуры и необходимой бортовой электронной аппаратуры для оптимальной организации движения транспортных средств единым потоком «бампер к бамперу» (platoon), передачи водителям рекомендаций, предупреждений и т. д. Потребуются датчики для определения интенсивности транспортных потоков, компьютеры для обработки больших массивов информации и генерации сообщений, средства связи, автомобильные дисплеи и многое другое.

В некоторых проектах (Telematic) предполагается, что информация, необходимая для функционирования ITS, будет поступать с самих автомобилей, необходимым образом оснащенных телематическими системами.

Что даст реализация программы ITS в будущем, не совсем ясно, но имеющиеся технологии позволяют уже сегодня реализовать современную информационную систему водителю.

На рис. 11.94 приведена примерная блок-схема информационной системы водителя, для конкретного автомобиля реализация может быть иной.

В нее входят несколько подсистем, включая навигационную систему, дистанционное управление дверными замками, систему связи «автомобиль — дорога», цифровой аудио- и видеокомплекс, систему передачи срочной информации водителю по радио. На бортовой компьютер поступа-



Рис. 11.94
Блок-схема информационной системы водителя

ют также сигналы от компаса, датчика скорости вращения колес, датчика положения руля и др.

Современные информационные системы водителя с их широкими возможностями сейчас все чаще называют телематическими (образовано от слов «телекоммуникации» и «информатика»).

Телематические системы — это устройства обмена информацией между системами автомобиля, водителем и окружающим миром: бортовой компьютер, навигационная система, средства связи и т. д. Электронные блоки управления агрегатами автомобиля (двигатель, тормоза с ABS и т. д.) выдают информацию системам телематики по шине данных.

Сегодня широко используется система дистанционного управления дверными замками автомобиля. Портативный передатчик, инфракрасный или радио, умещающийся в руке («брелок»), посылает цифровой код приемному устройству на автомобиле. Если код правильный, срабатывает исполнительный механизм и замок открывается. Если система опознает две кодовые посылки как ложные, дистанционное управление замками блокируется, их можно открыть теперь только ключом, при этом блокировка сбрасывается. Такое решение исключает подбор кодов каким-либо электронным устройством с целью угона.

Система связи «автомобиль — дорога» обеспечивает передачу сообщений от дорожных информационных служб автомобилю по радио. Она представляет собой инфраструктуру из приемопередатчиков небольшой мощности на дорогах и средств для генерации сообщений. Локальный приемопередатчик имеет ограниченный набор фиксированных сообщений. Различные сообщения может генерировать стационарный компьютер и передавать их локальным точкам (например, о пробках на данном маршруте). Приемопередатчики информационной системы могут также автоматически получать от проходящих мимо автомобилей сведения с помощью установленных на них транспондеров — специальных автоматических приемопередатчиков, устанавливаемых на подвижных объектах. В ответ на кодовую посылку транспондер передает требуемую информацию об объекте, на котором он установлен.

В авиации транспондеры используются для автоматической передачи параметров движения самолета наземным службам. В автомобилях — для дистанционного взимания платы за проезд по шоссе, получения информации о загрузке проходящих грузовиков и т. п. Имеется возможность дистанционно получать и передавать информацию от бортовой диагностической системы сервисным предприятиям. В случае обнаружения отклонений водитель предупреждается соответствующим текстом на дисплее или прочтением этого текста компьютером.

Цифровой аудио-видеокомплекс — CD-проигрыватель, радиоприемник — имеет в основном развлекательное назначение.

Система передачи сообщений по радио использует дополнительный канал в УКВ-диапазоне, что требует специального приемника. По радиоканалу передается различная предупредительная информация (оползни, гололед). Имеется возможность передачи корректирующей информации для данной

местности к сигналам от спутниковой глобальной позиционирующей системы. Это позволяет увеличить точность определения координат автомобиля с ± 100 до ± 5 м. Технологии для организации такой информационной системы существуют уже сегодня. Требуется создание необходимой и экономически оправданной инфраструктуры, а также системы генерации сообщений.

11.7.1. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Системы распознавания голоса и преобразования текста в речь. Во время движения автомобиля пользоваться сотовым телефоном или компьютером затруднительно и опасно, так как это отвлекает внимание водителя от дороги, особенно при напряженном движении в черте города. Существует программное обеспечение, позволяющее распознавать речь человека. Водитель говорит в микрофон, а компьютер выполняет несложные команды. До недавнего времени подобные системы могли распознавать 1–2 голоса после специального обучения компьютера. Сегодня разработчики предлагают все больше программ для распознавания голоса и чтения текста, например программа Via Voice фирмы IBM. Фирма модернизировала ее под сложные условия автомобильного салона (высокий уровень шума). Программа хорошо понимает голоса различных людей. Via Voice позволяет водителю давать голосом команды многим автомобильным системам и получать ответ в виде синтезированной речи. Допустимы, например, такие команды: запереть двери, включить CD-проигрыватель, настроиться на такую-то радиостанцию, запросить направление движения или сведения о дорогах от web-сервера или иных источников, зачитать поступившую электронную почту, запросить спортивные или биржевые новости и прочесть их, связаться по телефону с таким-то абонентом и т. д.

В концептуальном автомобиле Buick Bengal (General Motors) используется программное обеспечение фирмы Visteon. Программа распознает 118 команд на 6 языках, включая местные акценты, в условиях открытого или закрытого салона. Водитель, не выпуская из рук руля и не отрывая глаз от дороги, голосом может подать различные команды, начиная от управления режимом CD-проигрывателя или кондиционера и заканчивая изменением скорости движения автомобиля. Технология управления голосом позволит отказаться от многих кнопок и индикаторов на приборной панели.

Бортовой компьютер. Бортовой компьютер (иногда называемый маршрутизатором или путевым процессором) выдает водителю различную информацию о состоянии автомобиля, управляет средствами связи автомобиля с внешним миром, навигационной системой и т. д. Обычно она отображается на цифровом дисплее, управляется с пульта на приборном щитке автомобиля. На рис. 11.95 показан пульт управления с жидкокристаллическим дисплеем для одного из типов бортовых компьютеров. Начинают применяться и более удобные цветные графические сенсорные дисплеи с программируемыми виртуальными органами управления (рис. 11.96).

Бортовой компьютер определяет точное время и дату, расход топлива по сумме длительностей открытого состояния форсунок, скорость и пройденное расстояние.

На дисплей обычно выводится следующая информация:

- время, день недели и дата;
- средняя скорость на маршруте;
- время в пути;
- средний расход топлива на маршруте;
- мгновенный расход топлива;
- расход топлива на маршруте;
- расстояние, которое можно пройти на оставшемся запасе топлива.

При выезде на маршрут водитель с клавиатуры ввел расстояние до пункта назначения, бортовой компьютер будет выдавать информацию об ожидаемом времени прибытия в пункт назначения и расстоянии, оставшемся до пункта назначения.

Выпускаются портативные коммуникаторы и органайзеры, которые можно подключать к шине данных автомобиля. Соответствующее программное обеспечение делает их частью автомобильной информационной системы. Все услуги, реализуемые в стационарном офисе, сегодня доступны и для автомобилей: факсимильная связь, автоответчик, модем для компьютера и т. д. Компьютер в автомобиле может быть подключен к сети Интернет. Электронная почта (e-mail) становится доступной для водителя. При подключении через спутниковую антенну (direct PC) обеспечивается высокая скорость передачи данных. Автомобиль превращается в офис на колесах.

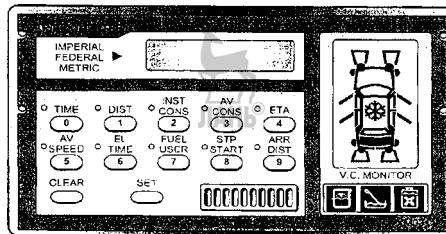


Рис. 11.95
Пульт управления бортового компьютера с жидкокристаллическим дисплеем



Рис. 11.96
Сенсорный дисплей.
Выведено окно навигационной системы



12

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

12.1. ДИАГНОСТИКА АВТОМОБИЛЯ

В последнее десятилетие автомобильная промышленность всего мира перешла на выпуск качественно новых, оснащенных сложной электроникой автомобилей. Для их ремонта мастеру нужны не только специальные профессиональные знания, но и совсем иной уровень технического оснащения рабочего места. Эта тенденция будет сохраняться и в дальнейшем. Уже сейчас автомобили оснащаются самой современной электроникой, автопроизводители используют в ней широкий спектр технологий, заимствованных у разработчиков авиационной и космической техники.

Ниже рассмотрены требования по подготовке (оснащению) рабочего места диагностика малого или среднего предприятия автосервиса.

Персональный компьютер. Необходим для хранения всевозможных баз данных по ремонту автомобилей, электрических схем базовых и модифицированных систем, информации по местоположению датчиков, узлов и механизмов, технических характеристик и др. Наиболее распространенные информационные базы данных: Autodata, Workshop, BOSCH ESI[tronic], ELSA и др.

Большинство сканеров, считывающих коды ошибок через диагностический разъем автомобиля, по сути являются адаптерами, позволяющими подключить к этому же разъему компьютер. Цифровые осциллографы и мотортестеры зачастую рассчитаны на управление и отображение информации посредством ПК, приобретаемого пользователем самостоятельно. В комплект некоторых мотортестеров изначально входит компьютер со специализированной операционной системой и программным обеспечением.

Газоанализатор. Позволяет получить информацию о составе отработанных газов. Эта информация необходима при

диагностике как системы управления двигателем, так и самого двигателя. Газоанализаторы измеряют и отображают содержание CO, CH, CO₂, O₂, NO_x в отработанных газах (либо только некоторых компонентов), а также могут автоматически рассчитывать на основании этих данных коэффициент (лямбда), показывающий отклонение состава топливовоздушной смеси от стехиометрической.

Хорошо зарекомендовали себя наиболее популярные модели газоанализаторов производства московской компании ЗАО «Альфа-динамика ХИМАВТОМАТИКА»:

- ИНФРАКАР 08.01 — измерение уровня содержания CO/CH, тахометр, автослив конденсата, RS-232;
- ИНФРАКАР М-1.01 — измерение уровня содержания CO/CH/CO₂/O₂/лямбда, тахометр, автослив конденсата, автоподстройка нуля, RS-232, работа с ПК и мотортестерами.

Сканеры кодов ошибок. В блоках управления электронными системами современных автомобилей встроена функция самодиагностики, позволяющая выявлять неисправности датчиков, электропроводки и самого блока. Для считывания этой информации автомобили оснащаются диагностическими разъемами для подключения к ним сканеров.

Основная функция сканеров — считывание и расшифровка кодов ошибок из памяти неисправностей блоков управления двигателем, автоматической трансмиссией, ABS и др. Но ни одна система самодиагностики не в состоянии на 100% точно определить неисправность. Вследствие этого достоверность полученной информации колеблется в пределах от 30 до 80% .

Блоки управления также оснащаются функциями, позволяющими передавать фактические величины (параметры, измеряемые датчиками и расчитываемые блоком управления) через сканер для отображения на ПК. Данная функция позволяет диагносту получить дополнительную информацию для выявления истинной неисправности. Посредством сканеров выполняются согласование и адаптация различных узлов электронных систем автомобиля, сброс сервисных интервалов и многие другие функции.

Хорошо зарекомендовали себя следующие сканеры кодов ошибок:

- Brain Bee AD-9000 — сканер, диагностика автомобилей производства Европы и Азии;
- Brain Bee ST-б ООО — сканер, диагностика автомобилей (Европа/Азия), портативный;
- Gutmann MEGA MAX 55 — сканер-осциллограф (Европа/Азия);
- Gutmann MEGA MAX 44 — сканер (Европа/Азия);
- Gutmann MEGA MAX 40 — сканер протокола OBDII;
- Autoland D-91 — сканер с глубокой поддержкой (Европа/Азия/США);
- Autoland Vedis — эконом-вариант сканера D-91;
- Trisco CS-3000 — сканер (Европа/Азия);
- Trisco SBD-102 — сканер с глубокой поддержкой автомобилей МВ;
- АВТОАС-СКАН — сканер для диагностики автомобилей ВАЗ, ГАЗ, УАЗ, ИЖ, автомобилей группы VAG, DAEWOO, протокол OBDII, работает под управлением ПК;

- АВТОАС-Ф16 — портативный сканер для диагностики автомобилей ВАЗ, ГАЗ, УАЗ, ИЖ, автомобилей группы VAG, MB, OPEL, DAEWOO, протокол OBDII.

Мотортестер — измерительный прибор, позволяющий продиагностировать механику двигателя, измерить сигналы и параметры электронных датчиков и исполнительных механизмов. Это осциллограф, специально адаптированный для диагностики автомобильной электроники, высоковольтных цепей систем зажигания и состояния механики двигателя. Для включения к высоковольтным цепям систем зажигания мотортестеры оснащаются высоковольтными датчиками различных типов и снабжены специальным режимом отображения осциллограммы высокого напряжения — «парад цилиндров». В этом режиме в реальном времени отображаются параметры импульсов зажигания, такие как пробивное напряжение, время и напряжение горения искры для каждого цилиндра индивидуально.

Мотортестеры не привязаны к какой-либо автомобильной марке или системе, и это позволяет диагностировать двигатели любых типов и любые электронные системы. Прибор должен быть оснащен универсальными осциллографическими входами, входами для подключения высоковольтных датчиков, следует предусмотреть подключение токовых клещей и других специальных датчиков.

Программное обеспечение должно позволять записывать осциллограммы сигналов и сохранять их в файл, проводить автоматический анализ и расчет параметров сигналов.

Одним из таких мотортестеров является USB Autoscope II фирмы Injector-Servjce, выполненный на временной электронной базе и имеющий небольшие габариты, массу.

Прибор позволяет выявить неисправности в:

- системах подачи топливовоздушной смеси;
- системах зажигания всех типов;
- других системах электрооборудования автомобиля;
- механических подсистемах автомобиля.

Отличия прибора от других аналогов:

- полноценная работа в реальном времени;
- непрерывный (бесфреймовый) режим передачи данных;
- запись и сохранение сигналов до 39 ч в файл для накопления собственной базы сигналов и обмена файлами через Интернет;
- возможность создания настроек пользователя, что исключает необходимость повторно настраивать прибор на необходимый режим работы;
- автоматический анализ параметров и формы сигнала;
- простота использования;
- диагностика механического дизельного впрыска при использовании датчика AVL;
- быстрое выявление загрязненных бензиновых форсунок без снятия с двигателя при использовании датчика First Look;
- питание прибора от шины USB;
- USB Autoscope II успешно эксплуатируется во всех странах СНГ, во многих странах Европы и в США.



Прочее оборудование. Кроме перечисленного оборудования в оснащение поста диагностики обязательно должны входить:

- стробоскоп;
- набор манометров и переходников для измерения давления топлива;
- компрессометр или тестер утечек;
- нанометр для измерения разрежения во впускном коллекторе;
- имитаторы выходных электрических сигналов различных датчиков.

Однако диагностическое оборудование — лишь инструмент, помогающий и позволяющий специалисту при наличии определенных знаний и навыков быстро и точно установить «диагноз» неисправности автомобиля. Сам по себе компьютер, каким бы совершенным он ни был, без грамотного, знающего специалиста — просто часть интерьера мастерской.

12.2. ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «АВТОМАСТЕР АМ1»

Диагностический комплекс «Автомастер АМ1» — современный диагностический комплекс на базе персонального компьютера (рис. 12.1), имеющий модульную структуру (см. табл. 12.1) и позволяющий осуществлять диагностику всех типов бензиновых (карбюраторных и инжекторных) и дизельных двигателей как отечественных автомобилей, так и иномарок.

Кроме широкого спектра диагностируемых двигателей комплекс имеет следующие преимущества:

- гибкий набор модулей (в том числе дизельный модуль, газоанализатор, сканер и т. д.);
- имеется программное обеспечение, позволяющее вести легко дополняемую справочную базу данных по автомобилям и клиентам;
- реализовано сравнение с эталонными значениями параметров;
- есть возможности углубленной диагностики при помощи цифрового 6-канального осциллографа и генератора сигналов;
- полученная в результате сводка диагностики выводится на принтер;
- имеется возможность расширения функций комплекса путем подключения новых модулей, а также модернизации программного обеспечения;
- имеется возможность подключения 2- или 4-компонентного газоанализатора.

Технические характеристики диагностического комплекса, а также измеряемые им параметры для различных двигателей представлены в табл. 12.2.



Рис. 12.1
Диагностический комплекс
«Автомастер АМ1»

Таблица 12.1

Возможные варианты комплектации комплекса

Модуль	Возможности
Базовый комплект	
Мотортестер	Диагностика бензиновых карбюраторных двигателей
Сканер ВАЗ, ГАЗ	Диагностика инжекторных двигателей отечественных автомобилей
Сканер VAG	Диагностика инжекторных двигателей VAG (VolksWagen, Audi, Seat, Skoda)
Модуль измерения температуры двигателя и давления топлива	Диагностика гидравлической части систем впрыска топлива, контроль температуры двигателя
Модуль многоканального осциллографа с функциями генератора сигналов	Контроль и имитация сигналов блока управления и датчиков автомобилей
Дополнительные опции	
Адаптеры MPIC3/DIS	Адаптер для многокатушечных систем зажигания, жгуты первичной цепи (универсальный до 4 цилиндров и специальный для подключения к модулю зажигания ВАЗ-2110, -2111, -2112), жгут вторичной цепи на 4 цилиндра. По дополнительному заказу можно поставить комплект на 8 цилиндров
Блок проверки электрических цепей	Параллельное подключение к электронным блокам управления (с контактным полем на 60 контактов и полным комплектом адаптеров под разъемы 25, 35, 55, 81 контакт, возможна поставка адаптеров по выбору)
Дизельный модуль	Диагностика дизельных двигателей. Датчик 6 мм
Сканер европейских автомобилей Scantronic/Uniscan/Euroscan	Диагностика BMW, Mercedes, VW, Audi, Seat, Skoda, Opel, Ford, Renault, Fiat, AlfaRomeo, Lancia, Daewoo, OBD-II (ISO-9141)
Газоанализатор (на выбор)	Инфракар 10.01, 2-компонентный, измерение CO/CH Инфракар M1.01, 4-компонентный, измерение CO/CH/CO ₂ /O ₂ /лямбда
Коммутатор портов	Требуется для сопряжения комплекса со сканером Scantronic/Uniscan/Euroscan и/или газоанализаторами Инфракар

Таблица 12.2

Измеряемые параметры и технические характеристики комплекса

Непосредственно измеряемые параметры для бензиновых двигателей (для базовой комплектации)	
Частота вращения КВ бензиновых и дизельных двигателей, об/мин	0–6000
Угол замкнутого состояния контактов прерывателя, град.	0–180°
Время накопления, мс	0–100
Максимальное изменение угла замкнутого состояния контактов прерывателя за рабочий цикл двигателя, град.	0–360°
Асинхронизм искрообразования, град.	0–180°
Угол опережения зажигания (впрыска), град. со стробоскопом, град.	0–60°
с датчиком ВМТ, град.	0±180°
Длительность искрового разряда на свече, мс	0–10
Напряжение искрового разряда на свече, кВ	0±5

Вторичное электрическое напряжение, кВ	0±40
Электрическое напряжение постоянного тока на клеммах аккумуляторной батареи, В	0–40
Электрическое напряжение постоянного тока на клеммах катушки зажигания, подключаемой к батарее, В	0–40
Электрическое напряжение постоянного тока на клеммах катушки зажигания, подключаемой к прерывателю, В	0–15
Сила постоянного электрического тока, А	0±600
Сопротивление, кОм	0–100
Параметры бензиновых двигателей, определяемые комплексом расчетным путем (для базовой комплектации)	
Эффективная составляющая баланса индикаторной мощности двигателя, %	0–100%
Составляющая механических потерь баланса индикаторной мощности двигателя, %	0–100%
Относительная компрессия по цилиндрам, %	0–100%
Относительное изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя при последовательном отключении из работы каждого из цилиндров (цилиндровый баланс), %	0–100%
Непосредственно измеряемые параметры для дизельных двигателей (при наличии дизельного модуля)	
Частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин	0–6000
Угол опережения начала подачи топлива, град.	0–60°
Непосредственно измеряемые параметры при наличии модуля измерения давления и температуры	
Температура масла, °C	от +20 до +100°C
Давление топлива, бар	0–16
Общие технические характеристики прибора	
Напряжение питания комплекса, В	220
Потребляемая мощность, Вт	250
Габаритные размеры, мм	975×670×1635
Масса, кг	80

12.2.1. БАЗОВЫЙ КОМПЛЕКТ: МОДУЛЬ «МОТОРТЕСТЕР»

Основная часть диагностического комплекса включает: стойку, консоль с платами согласования и измерений, системный блок с компьютером, принтер, монитор, устанавливаемый на стойке, комплект датчиков и соединительных жгутов.

В модуле «Мотортестер» базовой комплектации комплекса реализован цифровой осциллограф с широкими возможностями по управлению изображением, в частности:

- масштабирование по вертикали и горизонтали;
- стоп-кадр;
- режим детального исследования участка сигнала (лупа);
- изменение начала синхронизации.

В модуле «Мотортестер» поставляется справочная база данных по регулировочным параметрам более 2 тыс. отечественных и импортных автомобилей с указанием расположения меток установки угла опережения зажигания и регулировок холостого хода. Имеется возможность пополнения базы.

Результаты диагностики сохраняются в базе данных клиентов и могут быть в любой момент распечатаны на принтере.

12.2.2. БАЗОВЫЙ КОМПЛЕКТ: МОДУЛЬ МНОГОКАНАЛЬНОГО ОСЦИЛЛОГРАФА С ГЕНЕРАТОРОМ-ИМИТАТОРОМ ДАТЧИКОВ

Этот модуль позволяет:

- исследовать и имитировать сигналы датчиков и контроллеров электронных систем управления автомобилей любых производителей;
- генерировать сигналы стандартной формы (прямоугольной, треугольной и синусоидальной) с заданными параметрами.

Модуль универсального двухлучевого шестиканального осциллографа-генератора состоит из платы, вставляемой в консоль, жгута для подключения к исследуемым сигналам и модуля буферного усилителя, который позволяет управлять мощными потребителями тока. Высокое быстродействие модуля позволяет отследить кратковременные изменения сигнала.

Модуль предоставляет широкие возможности по исследованию сигналов:

- различные виды синхронизации;
- запоминание до шести экранов с последующим просмотром;
- сохранение сигнала в базе данных;
- сравнение исследуемого сигнала с эталонным;
- снятие характеристик сигнала при помощи измерительных меток.

В составе модуля имеется база сигналов наиболее распространенных датчиков автомобиля с возможностью ее пополнения пользователем.

12.2.3. БАЗОВЫЙ КОМПЛЕКТ: МОДУЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДВИГАТЕЛЯ И ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА

Модуль состоит из платы, вставляемой в консоль, электронных датчиков давления и температуры, комплекта переходников и штуцеров для подключения датчика давления к топливной системе автомобиля.

Модуль позволяет измерять давление топлива, время впрыска, температуру масла, а также проводить тест производительности форсунок, позволяющий определить их состояние непосредственно на двигателе.

12.2.4. ОПЦИЯ «ДИЗЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ»

Модуль позволяет осуществлять контроль частоты вращения и угла опережения впрыска. Осуществляются проверки работы регулятора оборотов, автоматической муфты опережения и электрооборудования, диагностика состояния топливного насоса и форсунок по осцилограммам.



12.3. ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС GT1

Для диагностики автомобилей BMW используется дилерский прибор GT1 (Modic 4) (рис. 12.2).

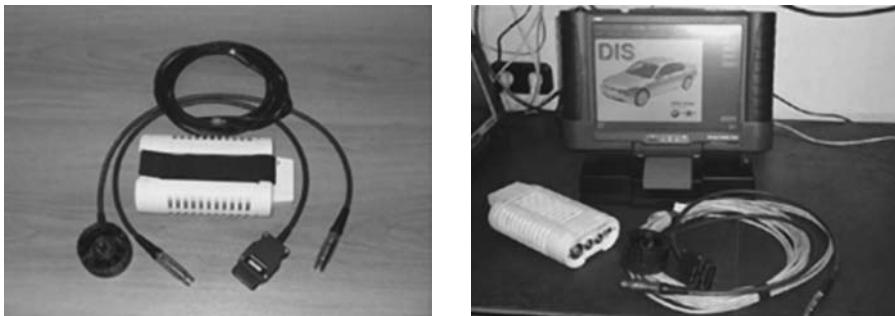


Рис. 12.2
Диагностический комплекс GT1

Помимо комплексной диагностики электронных систем BMW, адаптации, кодирования и программирования этот прибор располагает полной базой данных на все новейшие автомобили BMW.

Диагностика бортовой электроники состоит из следующих этапов:

1. Краткий тест ЗУ неисправностей ЭБУ автомобиля.
2. Тест-блоки ЭБУ, содержащие неисправности по результатам краткого теста (углубленная диагностика отдельных систем и компонентов автомобиля, выявление неисправностей).
3. Удаление ошибок из всех ЭБУ BMW (выход из диагностического блока и составление диагностического протокола).

Диагностируются все системы управления, а именно:

- бензиновым двигателем;
- дизельным двигателем;
- подушкой безопасности;
- механической КПП;
- автоматической КПП.

А также антиблокировочные системы тормозов ABS. Производится регулировка углов установки колес (сход-развал).

12.4. СКАНЕРЫ

12.4.1. СКАНЕР SCANTRONIC (UNISCAN MIDI/MINI) ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Сканер предназначен для диагностики электронных систем управления большого числа зарубежных (в основном европейских) и всех отечественных автомобилей. Он представляет собой комплект программной оболочки, из которой осуществляется вызов необходимых диагностических программ,

программного обеспечения для диагностики отдельных групп автомобилей, адаптера и кабелей связи. Последние осуществляют сопряжение электронного блока управления автомобиля со стандартным персональным компьютером или ноутбуком через два СОМ-порта (часть программ комплекта допускает работу с одним СОМ-портом).

Программы, входящие в комплект поставки, позволяют на базе стандартного ПК осуществлять все основные функции сканера (функции отличаются от программы к программе):

- считывание ошибок из контроллера;
- стирание ошибок из памяти контроллера;
- просмотр текущих параметров (показаний датчиков и расчетных величин блока управления);
- индикация состояния систем автомобиля (заведен двигатель или нет, нажата или нет педаль газа, есть ли ошибки в памяти контроллера и пр.);
- управление исполнительными механизмами (актуаторами) — форсунками, реле и пр.;
- изменение базовых настроек блока управления (оборотов холостого хода и т. п.);
- другие функции.

Кроме того, программа оболочка позволяет в удобном виде выводить показания с газоанализаторов серии Инфракар с выбором режима вывода (цифровой, график, гистограмма).

12.4.2. ПРОГРАММНЫЙ СКАНЕР МТ-2 (МОТОРТЕСТЕР-2)



Сканер предназначен для диагностики автомобилей ВАЗ, ГАЗ, УАЗ и представляет собой специализированное программное обеспечение для стандартного IBM PC, сопряженного с электронным блоком управления автомобилем специальным адаптером K-L-line.

Программа Мотортестер-2 (МТ-2) считывает и обрабатывает данные с ЭБУ автомобиля, обеспечивает возможность сохранять, просматривать и распечатывать полученную информацию, а также управлять исполнительными механизмами двигателя.

Программа позволяет:

- отображать в динамике все контролируемые параметры ЭБУ, просматривать как в цифровом, так и в графическом виде до 7 параметров одновременно;
- управлять исполнительными механизмами двигателя в процессе отображения интересующих параметров;
- система записи и просмотра поступающей информации, снабженная набором визиров, позволяет определять значения параметров в необходимый момент времени;
- получать сведения об ошибках ЭБУ, паспортах ЭБУ, двигателя, калиброках, таблицах коэффициентов топливоподач;

- проводить испытания для определения частоты вращения коленвала, механических потерь, скорости прогрева двигателя и другие, в зависимости от типа ЭБУ;
- вести базу данных о клиентах — владельцах автомобилей и проведенным диагностикам, сохранять в базе данных графики параметров;
- благодаря удобному интерфейсу легко управлять процессом диагностики автомобиля.

Сканер МТ-2 предъявляет низкие требования к компьютеру: не ниже процессора 486, ОЗУ — не менее 8 Мбайт, операционная система Windows 95, видеорежим 800×600 точек, не менее 256 цветов.

12.4.3. СКАНЕРЫ НА БАЗЕ ПК

Компьютерная программа «Автоас-Скан» предназначена для диагностики электронных систем управления двигателем и других систем (трансмиссия, АБС и др.) автомобилей отечественного и импортного производства через последовательный диагностический интерфейс электронных блоков управления (ЭБУ) типа K, L-Line, ALDL, ISO 9141-2, ISO 14230-4, KWP-2000, KWP-1281, KW-81, KW-82, J1850 PWM, J1850 VPWM, ISO 15765-4, CAN.

«Автоас-Скан» состоит из базовой программы и набора специализированных программных модулей, каждый из которых предназначен для диагностики определенного семейства автомобилей.

Подключение компьютера к диагностическому разъему автомобиля осуществляется с помощью специализированного электронного адаптера USB-ECU AS и соответствующих диагностических кабелей.

«Автоас-Скан» работает под управлением операционной системы Windows 2000/XP/Vista.

Программа-сканер «Автоас-Скан» может использоваться совместно с мотортестерами «Автоас-Профи», «Автоас-Профи-2», «Автоас-Профи-3» и газоанализаторами «Инфракар» (Альфа-динамика ХИМАВТОМАТИКА), «Аскон» (Авеста), «Автотест» (Мета) в составе единого диагностического комплекса с сохранением результатов в общую клиентскую базу данных. Перечень программных модулей и их основные возможности приведены в табл. 12.3.

Базовая программа «Автоас-Скан» включает клиентскую базу, которая позволяет:

- вести учет обслуживаемых автомобилей и реквизитов их владельцев;
- создавать и распечатывать на принтере заявку на ТО, карту ТО, а также сведения о выполненных работах и использованных комплектующих в ходе проведения ТО;
- сохранять и распечатывать на принтере результаты диагностики в виде текстовых отчетов («Коды неисправностей ЭБУ», «Параметры ЭБУ»);
- сохранять графики параметров для последующего просмотра и анализа;
- сохранение результатов метод-тестеров в общей клиентской базе данных.

Программные модули

Название программного модуля	Тип ЭБУ	Диагностируемые системы
ВАЗ	BOSCH M1.5.4 (P-83), BOSCH M1.5.4N (Евро-2), BOSCH M7.9.7 (Евро-2/Евро-3), BOSCH MP7.0Н (Евро-2/Евро-3), Январь-7.2 (Евро-2), Игэлма-7.2 (Евро-2), M73 (Евро-3), Январь-5.1 (Евро-2), Январь-5.1.1 (Р-83), Январь-5.1.2 (Р-83), Январь-5.1.3 (Евро-2), VS 5.1 (Р-83/Евро-2), Январь-4, Январь-4.1, GM ISFI-2S, GM EFI-4, ЭМВР, САҮКУ, СНПБ1118, СНПБ2170	Двигатель; электромеханический усилитель руля (Калина, Приора); иммобилизатор АПС6; система автоматического управления отопителем; система автоматического управления климатической установкой; подушки безопасности (Калина, Приора)
ГАЗ (УАЗ)	МИКАС 5.4, МИКАС 5.4 КЗ, МИКАС 7.1, МИКАС 7.1 КЗ, МИКАС 11, МИКАС 11ЕТ (Евро-3), МИКАС 11МТ (Евро-3), МИКАС 11CR (Евро-3), АВТРОН М1.5.4, VS5.6, VS8 ИТЭЛМА, СОАТЭ 31, СОАТЭ 302, NEW! BOSCH ME17.9.7, VDO Steyr (Дизель), BOSCH 5.3 (ABS)	Двигатель, ABS
ИЖ	МИКАС 7.6	Двигатель
ЗАЗ	МИКАС 7.6, МИКАС 10.3	Двигатель
Vag	Все типы ЭБУ, поддерживающие цифровой диагностический протокол KWP-1281	Более 32 систем (двигатель, АКПП, ABS, инструмент. панель, подушки безопасности и т. д.)
Opel	BOSCH ML4.1, BOSCH M1.5, Simtec 56.5, Simtec 70	Двигатель
Renault	Siemens EMS 3132	Двигатель, SRS (Logan), кузовная электроника (Logan)
Daewoo	DWMC Multec-Injection, GM ITMS-6F, GM IEFI-6, Siemens Fenix 5MR, Siemens Sirius D3, NEW! Siemens Sirius D4, Delphi MR-140	Двигатель, ABS (Delphi)
Hyundai	С диагностическим интерфейсом ISO 14230-4, ISO 9141-2	Двигатель, ABS (Accent), SRS (Accent)
Chery	С диагностическим интерфейсом ISO 14230-4	Двигатель
OBD-II	OBD-II (EOBD), совместимые с интерфейсом ISO9141-2, ISO14230-4, CAN, J1850 PWM/VPW	Двигатель, АКПП

12.4.4. СКАНЕР BARS III PROFESSIONAL

Этот универсальный мультимарочный сканер является профессиональным диагностическим прибором для работы с электронными системами управления автомобилей различных марок (см. рис. 12.3).

Диагностические возможности сканера максимально приближены к дилерским и могут расширяться благодаря возможности регулярного обновления программного обеспечения. Сейчас оно поддерживает следующие марки автомобилей: Audi, BMW, Citroen, Daewoo, Daihatsu, Ford, Honda, Hyundai, Infiniti, Kia, Lexus, Mazda, Mercedes-Benz, Mitsubishi, Nissan, Opel, Peugeot,

«Автоас-Скан»

	Модели автомобилей	Основные возможности			
		Коды неисправностей	Параметры	Тесты ИМ	Адаптация
	(Все модели до 2008 г.) ВАЗ-2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2114, 2115, 2121, 2123, Шеви-Нива, Калина, Приора	+	+	+	+
	ГАЗ (Волга, Siber, Газель, Соболь, Валдай, Баргузин) с двигателем ЗМЗ-40522, 40524, 4062, 4063, 409, УМЗ-4216, 249, Chrysler 2,4 л, ГАЗ-560 (VDO Steyr)	+	+	+	+
	ИЖ	+	+	+	+
	ЗАЗ-Daewoo Sens	+	+	+	+
	VW, Audi, Skoda, Seat с 1989...1992 по 2001...2003 г.	+	+	+	+
	Opel 1989...2003 г.	+	+	+	
	Logan (K7J 1,4 л, K7M 1,6), Symbol (K7J 1,4 л.), Kangoo (K7J 1,4 л)	+	+	+	+
	(Модели до 2008 г.) Aveo, Daewoo-Nexia, UZ-Daewoo Nexia (Евро-3), Leman Racer, Prince, Espero, Lanos, Lanos (Евро-3), Magnus, Rezzo, Leganza, Nubira, Nubira-II, Matiz, NEW! Matiz/Spark (Евро-3); ТАГАЗ (Донинвест) — Ассоль, Орион, Кондор;	+	+	+	+
	Accent, Getz, Matrix, Sonata, Tucson, Elantra	+	+	+	+
	Amulet, Fora, Tiggo, QQ	+	+	+	+
	Автомобили, произведенные для США с 1996 г., для Европы с 2001 г.	+	+	+	+

Porsche, Renault, Seat, Skoda, Subaru, Suzuki, Toyota, Volkswagen, Volvo, Saab, а также любые автомобили, поддерживающие стандарт OBD II/EOBD (шины данных SAE J1850 VPW, SAE J1850 PWM, ISO 9141-2, ISO14230-2 KWP2000, ISO 15765-4 CAN).

Диагностическая информация сканера Bars III Professional может отображаться на экране любого устройства, что делает возможным его использование в комплексе с персональным компьютером, ноутбуком, а также любым карманным компьютером (PalmPC, PocketPC), оснащенным терминалочной программой. Прибор поддерживает функцию беспроводной диагностики при оснащении его дополнительным модулем Bluetooth.



Рис. 12.3
Сканер Bars III Professional

Основные функции прибора:

- считывание кодов неисправностей и их текстовая расшифровка;
- стирание кодов неисправностей;
- вывод текущих параметров системы в цифровой (до 8 параметров одновременно) или графической форме (поддерживается только на определенных моделях автомобилей);
- управление исполнительными компонентами;
- активация специальных режимов работы блока управления (переход на базовые установки, адаптация и т. п.);
- адаптивных коэффициентов из памяти блока управления;
- автоматическое (трансферное) или ручное кодирование вновь устанавливаемого блока управления.

Конструкция данного сканера такова, что позволяет обновлять и дополнять программное обеспечение, ничего не меняя в его составе. Для некоторых автомобилей в комплект входят дополнительные модули согласования.

12.5. ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИНЖЕКТОРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

В последнее время все больше автолюбителей отдают предпочтение моделям с системой впрыска топлива (инжектором). В отличие от карбюраторных, эти автомобили потребляют меньше топлива. Стабильный всепогодный запуск двигателя гарантирует круглогодичную эксплуатацию автомобиля. Владелец инжекторного автомобиля может меньше беспокоиться о марке топлива. Система сама поддерживает равномерную, без детонации, работу двигателя при использовании различных марок бензина. И такие автомобили менее опасны с точки зрения загрязнения окружающей среды.

Под стать новому поколению двигателей современная система их диагностики. Современные электронные тестеры и компьютерные программы быстро и точно выявляют неисправности.

ДСТ-2М

Профессиональный диагностический сканер-тестер ДСТ-2М принят АО «АвтоВАЗ» как универсальный диагностический инструмент для обслуживания всех систем управления двигателем автомобилей ВАЗ, ГАЗ и УАЗ (рис. 12.4).

Тестер позволяет:

- считывать ошибки системы;
- просмотреть параметры, поступающие с датчиков;

- управлять исполнительными механизмами;
- накапливать данные и просматривать их по кадрам для обнаружения и анализа плавающих неисправностей;
- тестировать параметры при запуске двигателя, прокрутке и т. д.;
- обмениваться данными диагностики с компьютером для анализа и ведения баз данных;
- вручную или автоматически определять тип контроллеров и систем управления.

Технические характеристики.

Питание от бортовой сети автомобиля.

Потребляемая мощность — 6 ВА.

Габариты — 205×100×48 мм.

Масса (с картриджем) — 0,45 кг.

Поддерживаемые интерфейсы — K-Line, L-Line, RS-232.

8-строчный ЖК дисплей.

Языки интерфейса: русский, английский.

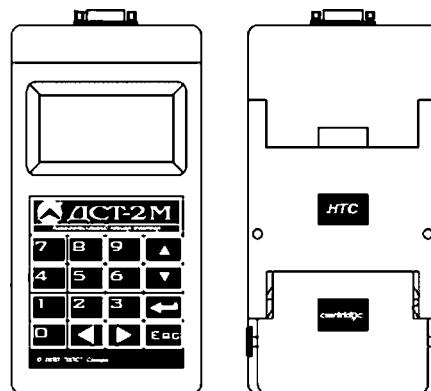


Рис. 12.4
ДСТ-2М

ДСТ-10



Тестер используется для выявления и устранения неисправностей системы электронного управления впрыском топлива (рис. 12.5).

Отсутствие сменных картриджей делает тестер более надежным, удобным и легким. Он поддерживает (с помощью полного набора картриджей для ДСТ-2М, кроме картриджей Bosch MP7.0 EURO3, Bosch M7.9.7, Daewoo, ВАЗ БЭС) все режимы и наборы отображаемых переменных, кодов ошибок, исполнительных механизмов.

Тестер предназначен для обслуживания:

- автомобилей ВАЗ, оснащенных:
 - ЭБУ Bosch M1.5.4, M1.5.4+, M1.5.4N, MP7.0 Euro-2 производства Bosch GmbH;
 - ЭБУ VS 5.1 E2, VS 5.1 R83;
 - ЭБУ Январь-3.0, 3.1, 4.0, 4.1, 5.1, 5.1.1, 5.1.2;
 - ЭБУ GM EFI4, GM ITMS6F, GM ISFI-2S производства компании General Motors,
- автомобилей ГАЗ и УАЗ, оснащенных:
 - ЭБУ Микас-5.47, Микас-7.1, Микас-7.2 российского производства;
 - ЭБУ СоАТЭ Автрон;
 - ЭБУ МКД-105;
 - ЭБУ VDO Steyr (ГАЗ-560).

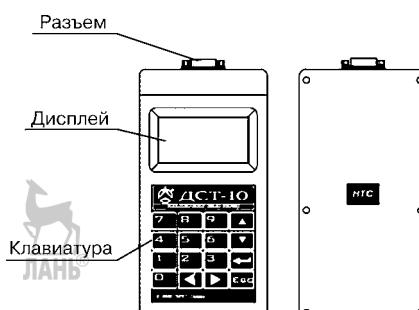


Рис. 12.5
ДСТ-10

При помощи ДСТ-10 можно выбрать режим тестирования, который позволяет:

- считывать системные данные;
- обрабатывать коды ошибок;
- сбрасывать коды ошибок;
- управлять исполнительными механизмами автомобиля;
- записывать и сохранять в памяти тестера значения переменных и флагов состояний;
- отображать данные как в текстовом, так и в графическом режиме;
- устанавливать пароль;
- экспорттировать данные в файл на компьютере при помощи программы DstLink и Мотортестер.

Структура аппаратного и программного обеспечения тестера ДСТ-10 позволяет пользователю при появлении новых типов ЭБУ оперативно обновлять программное обеспечение у дилера или производителя.

Для контроля работы двигателя фиксируются до 130 различных параметров, в зависимости от типа ЭБУ.

Технические характеристики.

Номинальное напряжение питания от источника постоянного тока — 12 В.

Максимально допустимое напряжение — 18 В.

Минимально допустимое напряжение — 6,5 В.

Потребляемая мощность — не более 2 ВА.

Габаритные размеры — 195×100×33 мм.

Масса — 0,3 кг.

Поддерживаемые интерфейсы — K-Line, L-Line, RS-232.

8-строчный ЖК дисплей.

Языки интерфейса: английский, русский.

ДСТ-8

Тестер предназначен для диагностики двигателей внутреннего сгорания отечественных автомобилей, оснащенных системами электронного управления впрыском топлива (рис. 12.6).

Прибор предназначен для использования владельцами автомобилей. Кроме того, с его помощью проводятся техническое обслуживание и ремонт автомобилей на станциях технического обслуживания, автосервиса, а также на предприятиях, производящих автомобили.

Тестер также служит для диагностики неисправностей систем управления двигателем.

Тестер позволяет проводить диагностику

- автомобилей ВАЗ, оснащенных:
 - ЭБУ семейства Bosch M1.5.4: Bosch M1.5.4 производства компании Bosch GmbH, Январь-5.1.х российского производства, VS 5.1 R83;
 - ЭБУ семейства Bosch M1.5.4N: Bosch M1.5.4N производства компании Bosch GmbH, Январь-5.1 российского производства, VS 5.1 E2;
 - Bosch Motronic MP7.0 Euro-2 производства компании Bosch GmbH;
 - GM ISFI-2S, GM EFI4, GM ITMS6F производства компании General Motors;

- ЭБУ семейства Январь-4 российского производства: Январь-3.0, Январь-3.1, Январь-4.0 и Январь-4.1;
- автомобилей ГАЗ и УАЗ, оснащенных:
 - ЭБУ Микас-5.47 российского производства;
 - ЭБУ Микас-7.1 российского производства;
 - ЭБУ Микас-7.2 российского производства;
 - ЭБУ СОАТЭ Автрон;
 - ЭБУ VDO Steyr;
 - ЭБУ МКД-105.

Тестер ДСТ-8 позволяет:

- считывать системные данные: параметры с датчиков и паспортные данные электронного блока управления и автомобиля;
- обрабатывать и сбрасывать коды ошибок;
- управлять исполнительными механизмами автомобиля;
- вручную или автоматически определять тип контроллеров и систем управления.

Для контроля работы двигателя фиксируются до 130 различных параметров в зависимости от типа ЭБУ.

Структура аппаратного и программного обеспечения тестера ДСТ-10 позволяет пользователю при появлении новых типов ЭБУ оперативно обновлять программное обеспечение у дилера или производителя.

Технические характеристики.

Питание от бортовой сети автомобиля.

Потребляемая мощность — 1,5 ВА.

Габаритные размеры — 145×87×43 мм.

Масса — 0,22 кг.

Поддерживаемые интерфейсы — K-Line ДСТ-8 позволяют осуществлять обмен информацией с устройствами, имеющими интерфейс стандарта K-Line.

2-строчный ЖК дисплей.

Языки интерфейса: русский, английский.

ДСТ-6С

Тестер предназначен для диагностики двигателей внутреннего сгорания автомобилей, оснащенных системами электронного управления двигателем (см. рис. 12.7).

Прибор используется для проведения технического обслуживания и ремонта автомобилей на станциях технического обслуживания, автосервиса, владельцем автомобиля, а также на предприятиях, производящих автомобили.

Тестер ДСТ-6С предназначен для проверки работоспособности форсунок, шаговых (обычно на автомобилях ВАЗ) и моментных (обычно на автомобилях ГАЗ) двигателей регуляторов холостого хода; состояния резистора

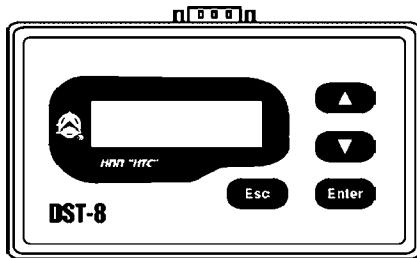


Рис. 12.6
ДСТ-8

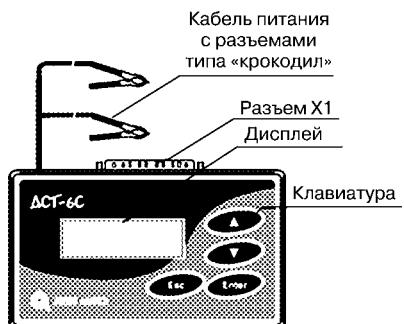


Рис. 12.7
ДСТ-6С

датчика положения дроссельной заслонки, датчиков массового расхода воздуха с аналоговым и частотным выходом, датчика абсолютного давления ГАЗ, датчика кислорода (*L*-зонд) ВАЗ; имитации сигналов датчика положения коленчатого вала, датчика-распределителя зажигания (датчика Холла) и датчика положения распределительного вала; измерения постоянного напряжения в пределах от 0 до 20 В; проверки работоспособности катушек и модулей зажигания; имитации выходного напряжения аналоговых датчиков.

Технические характеристики

Питание от бортовой сети автомобиля.

Потребляемая мощность — 1,5 ВА.

Габаритные размеры — 145×87×43 мм.

Масса — 0,22 кг.

Класс точности тестера по напряжению — согласно ГОСТ 8.401 0,5/0,05.

Класс точности тестера по частоте — согласно ГОСТ 8.401 1/0,0016.

Класс точности тестера по установке выходного напряжения — согласно ГОСТ 8.4010,4/0,4.

12.6. ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Исторически сложилось так, что выпускаемые автомобильные электрические системы управления, регулирования, контроля и сигнализации отличаются большим разнообразием конструкций, элементной базы и принципами работы, что уже само по себе усложняет диагностирование элементов, узлов и цепей электрооборудования. А ведь на его долю, как свидетельствует статистика, за время эксплуатации автомобиля приходится от 15 до 40% неисправностей (отказов). Тем более что уже сейчас 50% себестоимости некоторых АТС составляет электрооборудование.

Но многообразием изделий электрооборудования, выполняющих, по сути, одни и те же функции, дело, к сожалению, не ограничивается: диагностированию (поиску неисправности) мешает и множество других причин, основные из которых следующие.

1. Во все модели и модификации автомобилей и даже в одну модель в течение нескольких лет выпуска производители, как правило, вносят немало изменений в каждую электрическую схему и алгоритм ее работы, что часто не отражается в технической документации.

2. Расширение номенклатуры коммутационных цепей и усложнение их иерархии не сопровождается встраиванием разъемов для подключения контрольно-измерительных приборов. Например, первое поколение

автомобильных микропроцессорных систем, которое еще до сих пор сохраняется в эксплуатации, вообще не имеет диагностического разъема для подключения сканера. А если он где и был предусмотрен, то требует применения фирменного прибора с мало распространенным интерфейсом и узкоспециализированным программным обеспечением. Кроме того, объем памяти диагностического запоминающего устройства контроллера на таких автомобилях невелик, поэтому список вероятных неисправностей оказывается недопустимо мал. Правда, с середины 1990-х гг. на большинстве легковых автомобилей стали устанавливать унифицированный разъем OBD II, к которому можно подключать универсальный сканер, поддерживающий несколько протоколов обмена информацией с автомобильным контроллером. Но, как показывает практика, даже в этих условиях не все автомобильные системы обмениваются информацией со сканером, а код неисправности часто не соответствует действительности и требует пере проверки.

3. Автомобильное электрооборудование работает в широких диапазонах температур, давлений, влажности, вибраций. Поэтому появляются «кочующие», т. е. самопроизвольно возникающие и пропадающие неисправности, которые водитель обнаруживает по поведению автомобиля, но никакой сканер (проверка ведется в стабильных условиях СТО) считать их с бортового контроллера не может.

4. Для защиты электрооборудования и автомобиля в целом от возгорания из-за электрических замыканий в проводке и узлах в монтажных блоках применяется иерархическая схема подключения множества плавких, термо- и биметаллических предохранителей. Но блоки предохранителей располагаются в разных точках автомобиля, часто труднодоступных для диагностики и ремонта.

5. С начала 2000-х гг. стали появляться автомобили, оснащенные мультиплексными шинами (CAN, LIN, MOST и др.); скорость обработки данных® возросла с 20 Кбит/с до 25 Мбит/с; разрядность шины данных микропроцессоров повысилась с 4–8 разрядов до 16–32 битов; к однойшине подключается множество блоков с разным приоритетом. Кроме того, для передачи информации начинают применять не только традиционные шины, но и оптоволоконные линии связи, делая каналы связи гибридными. Более того, на некоторых «навороченных» автомобилях программное обеспечение компьютерной сети может устанавливаться как стационарно в условиях фирменного центра, так и через Интернет. Нарушение электропроводки шины или наличие вируса в ней могут вывести из строя всю автомобильную сеть. Оборудования же и методов диагностирования всего перечисленного в эксплуатации пока явно недостаточно, как и специалистов, владеющих тем и другим.

6. Чтобы обеспечить электрической энергией все новых и новых ее потребителей, производители вынуждены увеличивать мощность генерирующей подсистемы автомобиля. Причем для экономии меди в проводниках они постепенно повышают бортовое напряжение. И дело не ограничивается традиционной цепочкой «6 → 12 → 24 В»: сейчас уже многие говорят о неизбежности

перехода на 36 В. Это, естественно, усложнит конструкцию и затруднит применение тех технических средств диагностирования, которыми в настоящее время располагают СТО.

7. В системах управления часто закладываются адаптационные алгоритмы, которые скрывают неисправности, постепенно возникающие в процессе эксплуатации данных систем. Поэтому об исправности того же двигателя приходится судить по косвенным признакам: повышенному расходу топлива, ухудшению динамических характеристик автомобиля и т. п. — по признакам, которые может обнаружить далеко не каждый водитель.

8. Характеристики датчиков и исполнительных механизмов во время эксплуатации постепенно «уютят», т. е. эти устройства начинают давать погрешности, превышающие предельно допустимые их значения, что делает диагностирование электрооборудования недостоверным.

9. Механические допуски элементов и узлов, параметры пневматических и гидравлических систем регулирования значительно чаще, чем электронных, выходят за допусковый «коридор» и значительно влияют на работу последних.

10. Во время проведения на автомобиле сервисных и ремонтных работ, не связанных с электрооборудованием, часто повреждаются электрические коммуникации и блоки, не подключаются или неправильно подключаются разъемные соединения, что приводит к появлению новых неисправностей.

Таким образом, причин, усложняющих диагностирование электрооборудования современных автомобилей, действительно много. Причем отрицательные последствия некоторых из них со временем будут только усиливаться. Так, если взять системы генерирования электроэнергии, то здесь, очевидно, больших изменений не предвидится: tandem «генератор — аккумуляторная батарея» останется. То же самое и с системами пуска двигателя: замены электростартеру не придумано. Что касается систем управления ДВС, сейчас в эксплуатации находятся карбюраторы с электронным управлением, и системы механического распределенного впрыскивания топлива с электронным регулированием, и системы одноточечного (моно) впрыскивания, и системы распределенного впрыскивания топлива электромагнитными форсунками, расположенными над впускными клапанами двигателя, и, наконец, системы непосредственного впрыскивания с электромагнитными форсунками в камеру сгорания двигателя. Причем каждая такая система имеет свои характеристики, комплектацию датчиков и исполнительных механизмов, алгоритм функционирования.

Системой управления трансмиссией оснащены автоматические коробки передач, алгоритмы управления которыми имеют несколько режимов работы (экономичный, зимний, спортивный и др.). Для управления тормозами применяются электронные подсистемы, препятствующие полной остановке одного колеса при замедлении (предотвращение заноса). И наоборот, при ускорении — препятствующие пробуксовке одного ведущего колеса. В рулевом управлении используются усилители, а также электронные и электромеханические системы, реализующие сложный закон изме-



нения угла поворота руля и передних колес в зависимости от скорости движения.

Для создания комфортных условий водителю и пассажирам в автомобиле устанавливается система управления климатом (климат-контроль). Обязательным атрибутом систем активной безопасности стали подушки безопасности, с которыми возникли проблемы самопроизвольного их срабатывания или несрабатывания при авариях. Огромным разнообразием отличаются системы блокировки и сигнализации, препятствующие проникновению посторонних лиц в салон автомобиля и его угону.

Перечень можно продолжить, тем не менее вывод очевиден: для эффективного диагностирования все усложняющегося автомобильного электрооборудования необходимы новые и непрерывно обновляемые методы, алгоритмы и технические средства. Но не только: нужно, чтобы разработчики и производители автомобильной техники больше думали не только о тех, кто работает на сборочном конвейере, но и о тех, кто будет эксплуатировать АТС, в том числе диагностировать.





СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звонкин, Ю. З. Электронные системы автомобилей / Ю. З. Звонкин, А. М. Банго. — Ярославль, 2003.
2. Чижков, Ю. П. Электрооборудование автомобилей : курс лекций в 2 ч. — М. : Машиностроение, 2003.
3. Тимофеев, Ю. Л. Лабораторный практикум по электрооборудованию автомобилей. — М. : Транспорт, 1988.
4. Ютт, В. Е. Электрооборудование автомобилей. — М. : Транспорт, 2000.
5. Соснин, Д. А. Автотроника. Электрооборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей. — М. : СОЛОН-Р, 2001.
6. Соснин, Д. А. Новейшие автомобильные электронные системы / Д. А. Соснин, В. Ф. Яковлев. — М. : СОЛОН-Пресс, 2005.
7. Устройства и приборы для проверки и контроля электрооборудования автомобилей / сост. А. Г. Ходасевич, Т. И. Ходасевич. — М. : НТ Пресс, 2005. — Вып. 3: Информационный обзор для автолюбителей (Автоэлектроника).
8. Мельников, А. А. Управление техническими объектами автомобилей и тракторов: Системы электроники и автоматики : учеб. пособие для студентов вузов. — М. : ИЦ «Академия», 2003.
9. Справочник по устройству и ремонту электронных приборов автомобилей: в 5 ч. / сост. А. Г. Ходасевич, Т. И. Ходасевич. — М. : НТ Пресс, 2003–2005 (Автоэлектроника).
10. Пинский, Ф. И. Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания : учеб. пособие/Ф. И. Пинский, Р. И. Давтян, Б. Я. Черняк. — М. : Легион-Автодата, 2004.
11. Борилов, А. В. Диагностика технического состояния автомобиля: практикум контролера технического состояния автомототранспортных средств / А. В. Борилов [и др.]. — Ростов-на-Дону : Феникс, 2007.
12. Тюнин, А. А. Диагностика электронных систем управления двигателями легковых автомобилей. — М. : СОЛОН-Пресс, 2008.
13. Электрооборудование автомобилей ГАЗ. Устройство, поиск и устранение неисправностей. — М. : За рулем, 2004.



СОДЕРЖАНИЕ



От авторов	5
Введение	7
Развитие систем автоматического управления автомобилем	7
Управление двигателем и трансмиссией	10
Управление ходовой частью	12
Управление оборудованием салона и кузова	14
Перспективы использования мехатронники, микроэлектронных и микропрограммных способов управления системами и агрегатами автомобилей	14
1. Электронные системы регулирования качества электроэнергии автомобилей	20
1.1. Структурные схемы генератора как объекта регулирования и системы автоматического регулирования напряжения	20
1.2. Регуляторы напряжения	27
1.2.1. Двухпозиционные регуляторы с амплитудной модуляцией	27
1.2.2. Регуляторы напряжения дискретного действия	32
1.3. Регуляторы силы тока	36
1.3.1. Аналоговые системы непрерывного регулирования силы тока	36
1.3.2. Системы двухпозиционного регулирования силы тока	39
1.4. Регуляторы на базе микроконтроллера и информационно-управляющая сеть на автомобиле	41
1.4.1. Информационно-управляющая сеть на автомобиле	44
1.5. Обратимые электроэнергетические и теплоэлектрические установки автомобилей	47
1.5.1. Обратимые электроэнергетические установки автомобилей и тракторов	47
1.5.2. Теплоэлектрические энергетические установки автомобилей и тракторов	48
1.6. Дистанционная командная система управления электроснабжением потребителей	48
1.7. Вторичные источники питания электронных устройств	52



2. Датчиковая аппаратура и исполнительные устройства	59
2.1. Датчиковая аппаратура	59
2.2. Исполнительные устройства	61
2.2.1. Электромеханические преобразователи	62
2.2.2. Электромагниты	62
2.2.3. Пьезоактиоаторы	70
2.2.4. Электрические клапаны систем двигателей	73
2.2.5. Электромеханические форсунки	80
2.2.6. Электрогидравлические форсунки	85
2.2.7. Электромагнитные клапаны газораспределения	97
2.2.8. Электропневматические клапаны управления наддувом и рециркуляцией отработавших газов	99
3. Система автоматического управления экономайзером принудительного холостого хода автотранспорта	101
3.1. Общие сведения	101
3.2. Системы автоматического управления экономайзером принудительного холостого хода легковых автомобилей	102
3.2.1. САУ ЭПХХ «Каскад»	102
3.2.2. САУ ЭПХХ для автомобилей с электромагнитным клапаном	112
3.2.3. САУ ЭПХХ с семиштырьковыми электронными блоками	136
3.3. Система автоматического управления экономайзером принудительного холостого хода грузовых автомобилей	159
4. Системы управления зажиганием	165
4.1. Общие сведения	165
4.2. Классификация и элементы системы управления зажиганием	174
4.2.1. Датчики систем зажигания	177
4.2.2. Формирователи фазы импульсов зажигания	183
4.2.3. Формирователи амплитуды импульса тока в первичной обмотке	191
4.2.4. Формирование длительности импульса накопления энергии	197
4.2.5. Система автоматического регулирования первичного тока с ключевым режимом транзистора	204
4.2.6. Усилители мощности	206
4.2.7. Способы защиты выходных транзисторов от перенапряжений	208
4.2.8. Интегрированные формирователи систем зажигания	210
4.2.9. Распределители импульсов зажигания по цилиндрам	212
4.3. Пути совершенствования систем зажигания	215
4.4. Электромеханическая и классическая системы управления зажиганием	217
4.4.1. Функциональная схема электромеханической системы управления зажиганием	217
4.4.2. Общие сведения о классической системе зажигания	220
4.4.3. Принцип работы классической системы зажигания	222
4.4.4. Рабочий процесс батарейной системы зажигания	224
4.4.5. Характеристики классической системы зажигания	231
4.4.6. Недостатки классической системы зажигания	234
4.5. Электронные и микропроцессорные системы управления зажиганием	235

4.5.1. Теоретические основы работы контактной системы управления зажиганием	235
4.5.2. Контактно-транзисторная система управления зажиганием. Особенности работы и принципы построения ее узлов	241
4.5.3. Тиристорная (конденсаторная) система зажигания	260
4.5.4. Бесконтактные системы зажигания	270
4.5.5. Системы зажигания на дискретно-кодовых элементах	282
4.5.6. Микропроцессорные системы зажигания	293
5. Управление системой питания двигателя	301
5.1. Общие положения. Режимы работы двигателей внутреннего сгорания	301
5.2. Процессы в системе питания	303
5.3. Классификация систем питания	305
5.4. Управление системой впрыска топлива	308
6. Двигатель как объект управления	311
6.1. Требования и общие характеристики двигателя как объекта управления	311
6.2. Состав и структура микропроцессорной системы управления ДВС	316
6.3. Оптимальное, адаптивное и робастное управление двигателем	320
7. Электронно-управляемые системы двигателей	331
7.1. Электронные топливные системы	332
7.1.1. Непрерывно управляемые ЭТС	333
7.1.2. Топливные системы с импульсным питанием форсунок и индивидуальным управлением	336
7.1.3. Аккумуляторные ЭТС	346
7.1.4. Сравнительная оценка ЭТС	355
7.2. Электронные системы газообмена	357
7.2.1. Электронные системы наддува	358
7.2.2. Электронные системы впускных и выпускных каналов	361
7.2.3. Электронные системы газораспределения	362
7.3. Комплексное использование электронных систем на двигателях	363
8. Функциональные схемы и алгоритм микропроцессорных систем управления двигателем	365
8.1. Электронные управляющие комплексы двигателей	365
8.2. Схема адаптивной микропроцессорной системы управления	370
8.3. Схемы и алгоритмы программно-адаптивных комплексных МПСУ	375
8.3.1. Общие положения	375
8.3.2. Алгоритмы диспетчера режимов	379
8.4. Микропроцессорные системы управления частотой вращения двигателя	381
8.4.1. Способы определения отклонения частоты вращения	381
8.4.2. Регуляторы частоты вращения с переменной структурой	383
8.4.3. Робастное регулирование частоты вращения	389
8.4.4. Качество установившихся режимов регулирования частоты	390
8.5. Микропроцессорные системы управления опережением впрыскивания топлива и зажиганием	392
8.5.1. Общие положения	392

8.5.2. Программно-поисковая адаптивная система регулирования опережения впрыскивания топлива	395
8.6. Микропроцессорные системы управления газообменом	399
8.6.1. Управление наддувом	399
8.6.2. Управление впускными, выпускными каналами и газораспределением	401
8.7. Микропроцессорные системы управления цилиндрами и мощностью двигателя	402
8.7.1. МПСУ числом работающих цилиндров	402
8.7.2. МПСУ распределением нагрузки между цилиндрами	406
8.7.3. МПСУ мощностью двигателя	409
8.7.4. МПСУ ограничениями подачи топлива	410
9. Микропроцессорная система управления двигателями отечественных автомобилей	413
9.1. МПСУ автомобилем ГАЗ-3110 (-310221) с двигателем ЗМЗ-4062.10	413
9.1.1. Контроллер МИКАС 5.4	413
9.1.2. Режим самодиагностики контроллера МИКАС 5.4	426
9.1.3. Контроллеры МИКАС 7.1 и АВТРОН	430
9.2. МПСУ двигателем автомобилей «Москвич-Святогор» с двигателем Renault-F3R	432
9.3. МСУД автомобилей ВАЗ	434
9.3.1. Перспективные разработки МПСУД	449
10. Калибровка, адаптация и эффективность микропроцессорной системы управления двигателем	451
10.1. Калибровка и адаптация	451
10.1.1. Цели и основные этапы калибровки	451
10.1.2. Технология калибровки	453
10.2. Эффективность микропроцессорной системы управления двигателем	458
10.2.1. Повышение мощности двигателя с МПСУ	459
10.2.2. Улучшение конструкции двигателя с МПСУ	460
10.2.3. Методы и средства повышения надежности двигателя с МПСУ	461
10.2.4. Диагностирование МПСУ	462
10.2.5. Самокоррекция МПСУ в процессе эксплуатации	464
10.2.6. Стратегия надежности МПСУ	465
10.2.7. Диагностирование двигателя средствами МПСУ	468
10.3. Эффективность применения МПСУ в двигателях нетрадиционных схем	469
11. Специализированные бортовые системы автомобиля	471
11.1. Электронные и микропроцессорные системы управления сцеплением	471
11.1.1. Основные принципы автоматизации и предпосылки применения электронных систем	471
11.1.2. Электронные системы автоматического управления	480
11.1.3. Микропроцессорные системы автоматического управления	494
11.2. Электронные и микропроцессорные системы управления гидромеханическими передачами	499
11.2.1. Основные предпосылки применения электронных и микропроцессорных систем управления	501



11.2.2. Электронные системы	504
11.2.3. Микропроцессорные системы управления	510
11.3. Антиблокировочные тормозные системы	516
11.4. Навигационные системы автомобиля	525
11.4.1. Функции, структура и основные компоненты	525
11.4.2. Навигационное счисление	529
11.4.3. Электронные карты	530
11.4.4. Спутниковая позиционирующая система GPS	532
11.4.5. Примеры автомобильных навигационных систем	534
11.5. Системы охранной сигнализации и противоугонные устройства	536
11.5.1. Электронные противоугонные системы	537
11.5.2. Дистанционное управление противоугонными устройствами	538
11.5.3. Виды взлома и защита от них	541
11.6. Автомобильные мультиплексные системы передачи информации	548
11.6.1. Общие сведения	548
11.6.2. Локальные вычислительные сети	555
11.6.3. Протоколы для автомобильных мультиплексных систем	563
11.7. Современная автомобильная информационная система	589
11.7.1. Специализированные бортовые системы	592
12. Диагностическое оборудование электронных блоков управления автомобилей зарубежного и отечественного производства	594
12.1. Диагностика автомобиля	594
12.2. Диагностический комплекс «Автомастер АМ1»	597
12.2.1. Базовый комплект: модуль «Мотортестер»	599
12.2.2. Базовый комплект: модуль многоканального осциллографа с генератором-имитатором датчиков	600
12.2.3. Базовый комплект: модуль измерения температуры двигателя и давления топлива	600
12.2.4. Опция «Дизельный модуль»	600
12.3. Диагностический комплекс GT1	601
12.4. Сканеры	601
12.4.1. Сканер Scantronic (Uniscan Midi/Mini) для диагностики электронных блоков управления автомобилей	601
12.4.2. Программный сканер МТ-2 (Мотортестер-2)	602
12.4.3. Сканеры на базе ПК	603
12.4.4. Сканер Bars III Professional	604
12.5. Диагностическое оборудование для инжекторных автомобилей	606
12.6. Проблемы диагностирования электрооборудования автомобилей	610
Список литературы	614

Смирнов Ю.А., Муханов А.В. Смирнов Ю.А., Муханов А.В. — Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилей

Юрий Александрович СМИРНОВ,
Алексей Витальевич МУХАНОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ
И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
АВТОМОБИЛЕЙ

Учебное пособие



Зав. редакцией инженерно-технической литературы *Е. Л. Дубова*

Ответственный редактор *О. А. Шаповалова*

Художественный редактор *С. Ю. Малахов*

Редактор *Е. А. Монахова*

Технический редактор *Е. Е. Егорова*

Корректоры *Т. А. Брылева, Т. А. Кошелева*

Подготовка иллюстраций *И. М. Леонтьева*

Верстка *М. И. Хетерели*

Выпускающие *И. Е. Вильман, О. В. Шилкова*

ЛР № 065466 от 21.10.97

Гигиенический сертификат 78.01.07.953.П.007216.04.10
от 21.04.2010 г., выдан ЦГСЭН в СПб

Издательство «ЛАНЬ»

lan@lanbook.ru; www.lanbook.com

192029, Санкт-Петербург, Общественный пер., 5.

Тел./факс: (812) 412-29-35, 412-05-97, 412-92-72.

Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать 20.03.12.

Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 70×100¹/₁₆.
Печать офсетная. Усл. п. л. 50,70. Тираж 1000 экз.

Заказ № .

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных материалов в ОАО «Дом печати — ВЯТКА»
610033, г. Киров, ул. Московская, 122