

Министерство образования Российской Федерации

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Автомобильно-дорожный институт

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

### АНАЛИЗ, РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОТАКТНЫХ ОБРАТНОХОДОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ТИРИСТОРНЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

Авторы: Францев Сергей Михайлович  
Научный руководитель: Шаронов Геннадий Иванович

Пенза 2004

## Содержание

Введение.....	3
Анализ, разработка и исследование однократных обратных преобразователей напряжения для тиристорных систем зажигания.....	5
Заключение.....	33
Список использованных источников.....	34
Приложение А Лабораторная работа.....	36
Приложение Б Акт внедрения .....	48

## Введение

Автомобильная электроника динамично развивается. Современное развитие двигателестроения идет по пути повышения экономичности, снижения токсичности отработавших газов, что возможно лишь применением микропроцессорных систем управления силовым агрегатом, повышением степени сжатия двигателя, обеднением топливных смесей и т.д. Анализ научно-технической литературы и патентные исследования глубиной более 20 лет по фондам Всероссийской патентно-технической библиотеки (ВПТБ) шести ведущих стран мира: США, Великобритании, Франции, Германии, Японии и России (СССР), а также результаты экспериментальных исследований свидетельствует о необходимости значительной интенсификации процессов воспламенения и начальных стадий горения при работе на обедненных и бедных бензино-, и газо-воздушных смесях в двигателях внутреннего сгорания (ДВС). Что возможно обеспечить лишь применением тиристорных систем зажигания (ТСЗ). Это обусловлено высокой скоростью нарастания вторичного напряжения, большей плотностью тока емкостной и индуктивной составляющих плазменного разряда в увеличенном зазоре свечи зажигания и позволяет во время действия первой короткой сильноточной компоненты индуктивной составляющей разряда поджечь существенно больший объем топливовоздушной смеси. Создание первоначального очага горения большого объема и его интенсивного расширения в период действия второй длительной слаботочной компоненты индуктивной составляющей разряда приводит к большей скорости нарастания давления в цилиндре и, соответственно, увеличению мощности и крутящего момента на холостых, малых, средних, больших, переходных режимах работы двигателя и частичной нагрузке. Это обеспечивает эффективное сгорание традиционного и альтернативного топлива и, как следствие, с одной стороны повышает КПД, приемистость, мощность, крутящий момент, детонационную стойкость, ресурс, а с другой стороны, снижает токсичность, шумность выхлопа, расход топлива и зависимости параметров ДВС от уменьшения октанового числа топлива.

ТСЗ состоит из преобразователя напряжения, формирователя импульсов и системы формирования инициирующего разряда. Работа посвящена исследованию и разработке преобразователя напряжения для ТСЗ, так как существующие одноктактные преобразователи напряжения обладают малой мощностью, что обусловлено потерями на силовом транзисторе, а у двухтактных преобразователей напряжения сложность в стабилизации напряжения на накопительном конденсаторе.

В работе стоит задача проведения патентного поиска, анализа существующих схемотехнических решений и синтеза новых одноктактных преобразователей напряжения для ТСЗ.

## Анализ, разработка и исследование одноктактных обратных преобразователей напряжения для тиристорных систем зажигания

Давно известны одноктактные обратные преобразователи напряжения (ООПН) с обратным включением диода, используемые в ТСЗ [1–20]. Они работают с высоким КПД при значительном изменении напряжения питания и нагрузке емкостным накопителем, не боятся короткого замыкания на выходе.

Существуют два варианта схемотехнических решений ООПН с трансформаторной положительной обратной связью: схема с общим эмиттером (рис. 1) [1] и схема с общим коллектором (рис. 2) [2].

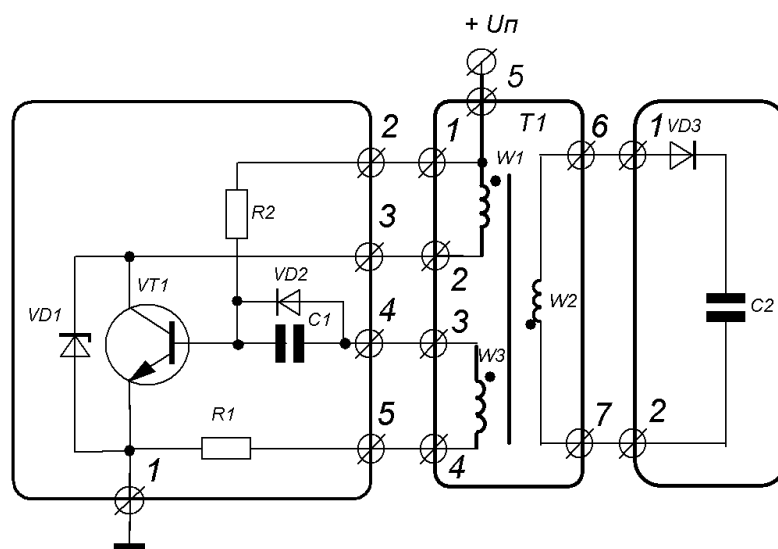


Рис. 1. ООПН по схеме с общим эмиттером:

$T1$  – трансформатор содержащий: магнитопровод,  $W1$  – первичная обмотка,  $W2$  – вторичная обмотка,  $W3$  – обмотка обратной связи;  $VT1$  – транзистор силовой;  $R1, R2$  – резисторы;  $C1$  – времязадающий конденсатор;  $C2$  – накопительный конденсатор;  $VD1$  – стабилитрон;  $VD2, VD3$  – диоды

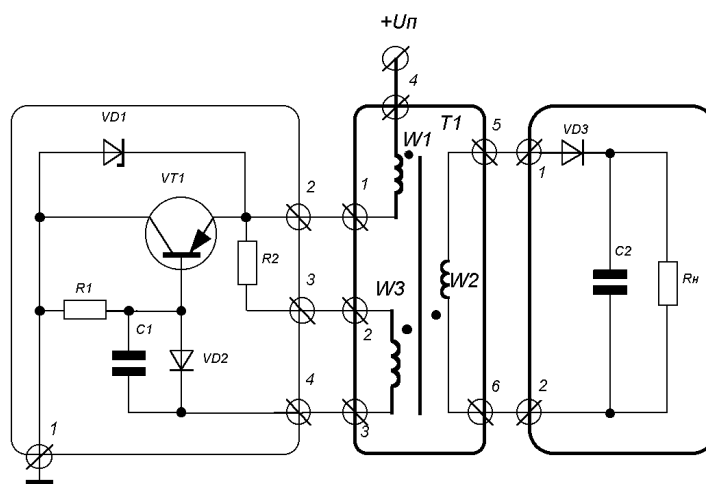


Рис. 2. ООПН по схеме с общим коллектором:

$T1$  – трансформатор содержащий: магнитопровод,  $W1$  – первичная обмотка,  $W2$  – вторичная обмотка,  $W3$  – обмотка обратной связи;  $VT1$  – транзистор силовой;  $R1, R2$  – резисторы;  $R_n$  – резистор нагрузки;  $C1$  – времязадающий конденсатор;  $C2$  – накопительный конденсатор;  $VD1$  – стабилитрон;  $VD2, VD3$  – диоды

Рассмотрим, например, принцип работы ООПН по схеме с общим коллектором (рис. 2). Трансформатор  $T1$  – линейный дроссель; интервалы накопления энергии в нем и передачи накопленной энергии в нагрузку разнесены во времени. На рис. 3 приведены временные диаграммы работы ООПН, где  $I_1$  – ток первичной обмотки  $W1$  трансформатора  $T1$ ;  $I_2$  – ток вторичной обмотки  $W2$  трансформатора  $T1$ ;  $I_{1max}$  – максимальный ток коллектора силового транзистора;  $I_{2max}$  – максимальный ток во вторичной обмотке  $W2$  трансформатора  $T1$ ;  $t_n$  – интервал накопления энергии в трансформаторе  $T1$ ;  $t_{п}$  – интервал передачи энергии в нагрузку. Интервал времени  $t_{п}$  максимален при включении ООПН, когда конденсатор  $C2$  разряжен и напряжение на нагрузке равно нулю.

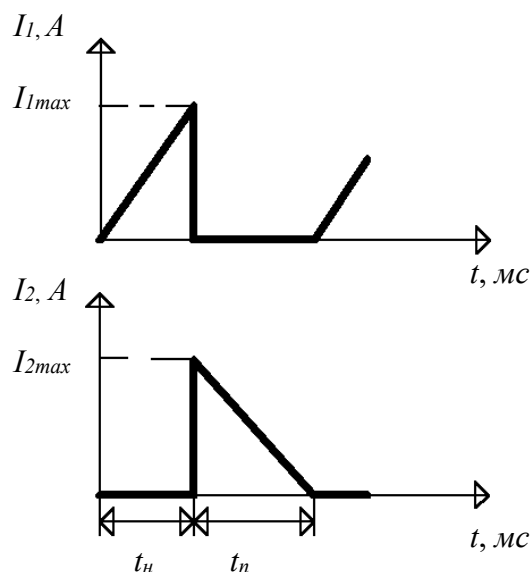


Рис. 3. Диаграммы работы ООПН

Важно отметить: поскольку этапы накопления энергии и ее передачи разнесены во времени то максимальный ток коллектора силового транзистора не зависит от тока нагрузки, т. е. ООПН полностью защищен от замыканий на выходе. Однако при работе преобразователя всплеск напряжения на обмотке  $W1$  трансформатора в момент закрывания транзистора может превысить максимально допустимое значение напряжения коллектор-эмиттер силового транзистора и вывести его из строя. Для предотвращения этого применен стабилитрон  $VD1$  служащий для ограничения ЭДС самоиндукции на транзисторе  $VT1$  на безопасном для него уровне (равном напряжению пробоя стабилитрона  $VD1$ ). ООПН работает следующим образом. При подаче напряжения питания через эмиттерный переход транзистора  $VT1$  и резистор смещения  $R1$  начинает протекать ток базы силового транзистора ( $I_B$ ). В результате чего транзистор  $VT1$  открывается и почти полное напряжение питания прикладывается к обмотке  $W1$  трансформатора  $T1$  и через неё начинает протекать линейно нарастающий ток ( $I_K$ ). Магнитодвижущая сила  $I_K \cdot W1$  возбуждает в магнитопроводе магнитный поток  $\Phi$ . Этот магнитный поток индуцирует в первичной обмотке ЭДС самоиндукции, а в остальных обмотках ЭДС индукции. Сильная положительная обратная связь, осуществляемая обмоткой обратной связи через резистор  $R2$ , эмиттерный переход транзистора  $VT1$  и диод  $VD2$ , обуславливает

лавинообразный характер нарастания  $I_B$  и такой же характер уменьшения разности потенциалов между коллектором и эмиттером транзистора  $VT1$ . Через некоторый момент времени разница потенциалов между коллектором и эмиттером транзистора снижается до единиц Вольт и силовой транзистор  $VT1$  переходит в режим насыщения. Режиму насыщения соответствует прямое смещение как эмиттерного, так и коллекторного переходов транзистора  $VT1$ . Линейно нарастающий ток в первичной обмотке  $W1$  трансформатора приводит к постепенному насыщению сердечника трансформатора и, как следствие, уменьшению коэффициента трансформации. Это приводит к тому, что  $I_B$  насыщенного транзистора  $VT1$  падает с ростом  $I_K$ , падение напряжения между коллектором и эмиттером силового транзистора возрастает и поэтому увеличивается мощность рассеиваемая в выходной цепи транзистора  $VT1$ . Во время протекания тока в обмотке  $W1$  трансформатора  $T1$  происходит накопление энергии в магнитном поле трансформатора  $T1$ . Ток в первичной обмотке  $W1$  трансформатора возрастает до тех пор, пока обеспечивается насыщение транзистора  $VT1$ , т. е. пока соблюдается условие

$$I_K \leq I_B \cdot h_{21Э} , \quad (1)$$

где  $h_{21Э}$  – коэффициент передачи тока базы силового транзистора в режиме насыщения.

При достижении током коллектора значения  $I_K = I_B \cdot h_{21Э}$ , которое будем называть током разрыва, силовой транзистор  $VT1$  начинает закрываться. Падение напряжения на нём увеличивается, а на первичной обмотке  $W1$  трансформатора  $T1$  уменьшается. Вследствие этого напряжение на обмотке  $W3$  тоже уменьшается. Из-за действия цепи положительной обратной связи происходит лавинообразное снижение и инвертирование  $I_B$ , вызывая запираение транзистора  $VT1$ . На этом заканчивается прямой ход работы ООПН. Диод  $VD3$  во время прямого хода закрыт, так как к его аноду приложен отрицательный потенциал. После разрыва тока в обмотке  $W1$  трансформатора  $T1$  начинается обратный ход работы ООПН. Энергия, накопленная в магнитном поле трансформатора  $T1$ , создаёт (при обратном ходе работы ООПН) в его обмотках импульсы напряжения противоположной



полярности. Положительный импульс с конца обмотки  $W2$  открывает диод  $VD3$ , и ток, индуцированный во вторичной обмотке  $W2$ , заряжает конденсатор  $C2$  и протекает через резистор  $R_n$ . Положительное напряжение с конца обмотки  $W3$  через конденсатор  $C1$  прикладывается к базе транзистора  $VT1$  и запирает его. После окончания действия импульса обратного хода (после “сброса” в конденсатор  $C2$  накопленной энергии в магнитном поле трансформатора  $T1$ ) напряжение на обмотках  $W2$  и  $W3$  падает до нуля. Это приводит к тому, что через транзистор  $VT1$  и резистор смещения  $R1$  начинает протекать  $I_B$ , транзистор  $VT1$  открывается и происходит новое накопление энергии в магнитном поле трансформатора  $T1$ .

Экспериментальные исследования данной схемы ООПН на транзисторе  $VT1$  (транзистор П217А) и с трансформатором  $T1$  на базе ленточного магнитопровода ШЛ 12\*16 проведены с целью определения мощности ( $P$ ) и КПД ( $\eta$ ) ООПН. Мощность ООПН можно приблизительно определить измерением напряжения на образцовом резисторе  $R_n$ , подключенном параллельно накопительному конденсатору  $C2$ . Временные диаграммы работы представлены на рис. 4, где  $I_K$  – ток коллектора силового транзистора  $VT1$ ;  $U_э$  – напряжение на эмиттере транзистора  $VT1$  относительно общей шины;  $I_B$  – ток базы транзистора  $VT1$ .

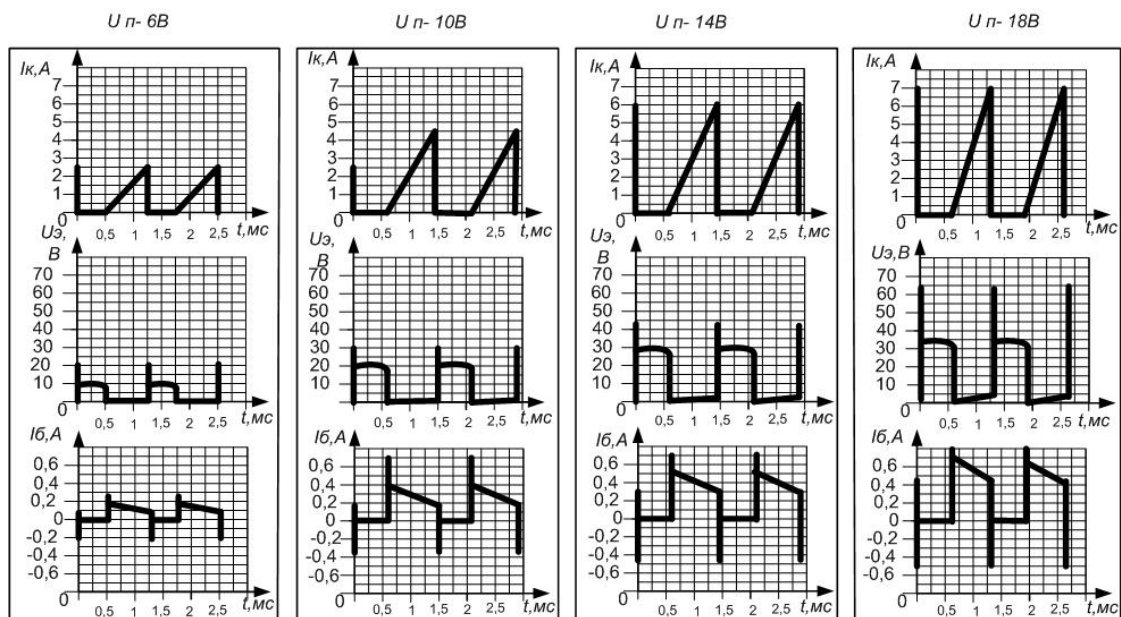


Рис. 4. Временные диаграммы работы ООПН по схеме с общим коллектором в зависимости от изменения напряжения питания

Результаты экспериментальных исследований при различных значениях напряжения питания ( $U_{\text{п}}$ ) сведены в табл. 1.

Результаты исследования ООПН

Таблица 1

$U_{\text{п}}, \text{В}$	6	8	10	12	14	16	18
$I_{\text{потреб}}, \text{А}$	0,8	1,1	1,4	1,6	1,85	2	2,2
$U_R, \text{В}$	63	83	105	124	140	160	182
$f, \text{Гц}$	740	714	714	714	740	769	800

Где  $f$  – частота работы ООПН.

По значениям табл. 1 проведены расчёты значений мощностей и КПД ООПН:

а) Потребляемая мощность  $P_1 = I_{\text{потреб}} \cdot U_{\text{п}}$ ;

б) Мощность преобразователя напряжения  $P_2 = U_R^2 / R$ ;

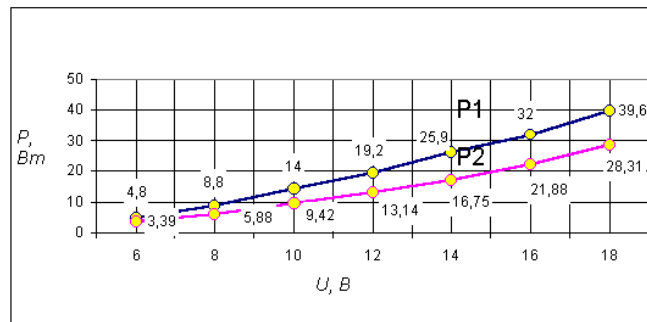
в) КПД  $\eta = P_2 / P_1$ ,

где  $I_{\text{потреб}}$  – потребляемый ток ООПН, А;

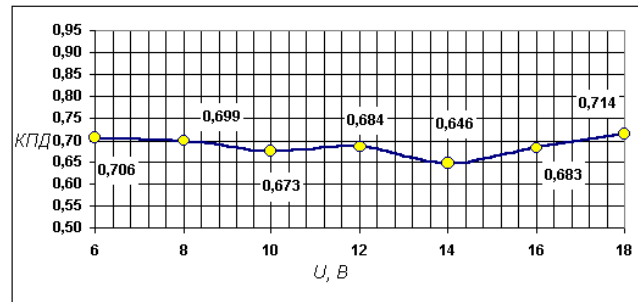
$U_R$  – напряжение на резисторе нагрузки  $R_{\text{н}}$ , В;

$R$  – сопротивление резистора нагрузки  $R_{\text{н}}$ , Ом.

На основании проведенных расчётов мощностей и КПД ООПН построены графические зависимости (рис. 5).



а)



б)

Рис. 5. Графическая зависимость мощностей (а) и КПД (б) ООПН по схеме с общим коллектором от изменения напряжения питания

Недостаток простейшего ООПН – зависимость тока коллектора транзистора  $VT1$  от статического коэффициента передачи тока базы транзистора  $VT1$ . Поэтому параметры ООПН будут значительно отличаться при использовании различных экземпляров транзистора  $VT1$ .

Экспериментальные исследования показали, что  $I_K$  и  $I_B$  транзистора  $VT1$  неконтролируемо растут при повышении напряжения питания. Гораздо более стабильными характеристиками обладает преобразователь, использующий “самозащищенный” силовой транзистор (рис. 6) [1].

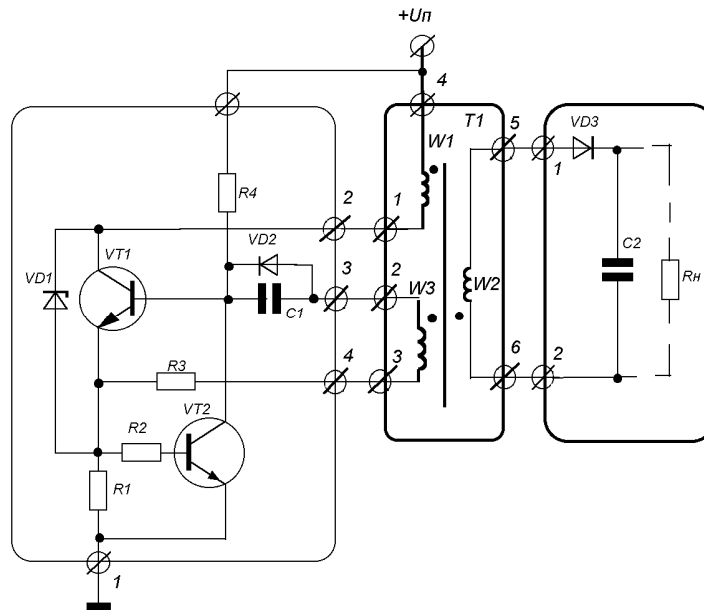


Рис. 6. Схема ООПН с общим эмиттером с “самозащищенным” силовым транзистором:

$T1$  – трансформатор содержащий: магнитопровод,  $W1$  – первичная обмотка,  $W2$  – вторичная обмотка,  $W3$  – обмотка обратной связи;  $VT1$  – транзистор силовой;  $VT2$  – транзистор;  $R1$ –  $R4$  – резисторы;  $R_n$  – резистор нагрузки;  $C1$  – времязадающий конденсатор;  $C2$  – накопительный конденсатор;  $VD1$  – стабилитрон;  $VD2$ ,  $VD3$  – диоды

Пилообразное напряжение с резистора  $R1$ , пропорциональное току первичной обмотки  $W1$  трансформатора  $T1$ , подано через резистор  $R2$  на базу вспомогательного транзистора  $VT2$ . Как только напряжение на резисторе  $R1$  достигнет порога открывания транзистора  $VT2$  (0,6 В), он откроется и ограничит ток базы транзистора  $VT1$ , что прервет процесс накопления энергии в магнитном поле трансформатора  $T1$ . Максимальный ток  $I_{Kmax}$  первичной обмотки трансформатора  $T1$

$$I_{Kmax} = \frac{0,6}{R1} \quad (2)$$

оказывается мало зависящим от параметров конкретного экземпляра транзистора. Естественно, рассчитанное по формуле (2) значение ограничения тока должно быть меньше тока, определенного по формуле (1) для наихудшего значения статического коэффициента передачи тока базы силового транзистора.

Авторами разработан ООПН по схеме с общим коллектором с узлом защиты по току транзистора  $VT1$  выполненным на транзисторах разной структуры проводимости с непосредственными связями (рис. 7).

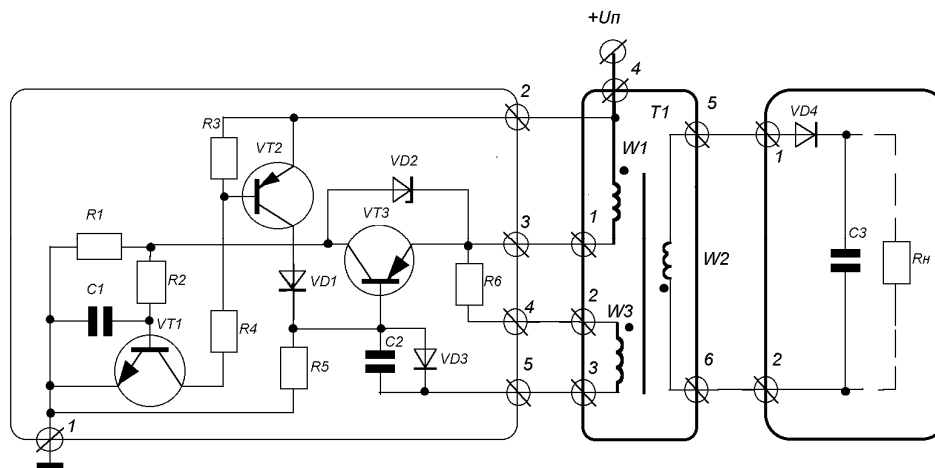


Рис. 7. Схема ООПН с общим коллектором с узлом защиты по току:

$T1$  – трансформатор содержащий: магнитопровод,  $W1$  – первичная обмотка,  $W2$  – вторичная обмотка,  $W3$  – обмотка обратной связи;  $C1$ ,  $C2$  – конденсаторы;  $C3$  – накопительный конденсатор;  $VD1$ ,  $VD3$ ,  $VD4$  – диоды;  $VD2$  – стабилитрон;  $VT1$ ,  $VT2$  – транзисторы;  $VT3$  – транзистор силовой;  $R1$ –  $R6$  – резисторы;  $R_n$  – резистор нагрузки

Узел защиты по току работает следующим образом. При увеличении тока коллектора транзистора  $VT3$  увеличивается падение напряжения на резисторе  $R1$  и в момент, когда падение напряжения становится равным примерно 0,65–0,7 В, из-за наличия конденсатора  $C1$  и резистора  $R2$ , транзистор  $VT1$  открывается и открывается транзистор  $VT2$ , так как начинает течь ток базы транзистора  $VT2$  через резистор  $R4$  и открытый транзистор  $VT1$ . Открытый транзистор  $VT2$  через диод  $VD1$  шунтирует базо-эмиттерный переход транзистора  $VT3$ . Транзистор  $VT3$  начинает закрываться, и из-за действия положительной обратной связи происходит лавинообразное снижение и инвертирование  $I_b$  транзистора  $VT3$  и он закрывается. Ток в первичной обмотке  $W1$  трансформатора  $T1$  резко прекращается и энергия, накопленная в магнитном поле трансформатора  $T1$ , трансформируется во вторичную цепь. Изменяя номиналы резисторов  $R1$  и  $R2$  можно ограничить ток коллектора транзистора  $VT3$  на определённом уровне. Конденсатор  $C2$  и резистор

$R2$  служат для повышения надежности срабатывания транзистора  $VT1$ . Полученные в результате экспериментального исследования временные диаграммы работы ООПН по схеме с общим коллектором и узлом защиты по току транзистора  $VT3$  представлены на рис. 8, где  $I_K$  – ток коллектора силового транзистора  $VT3$ ;  $U_э$  – напряжение на эмиттере силового транзистора  $VT3$  относительно общей шины;  $I_B$  – ток базы силового транзистора  $VT3$ .

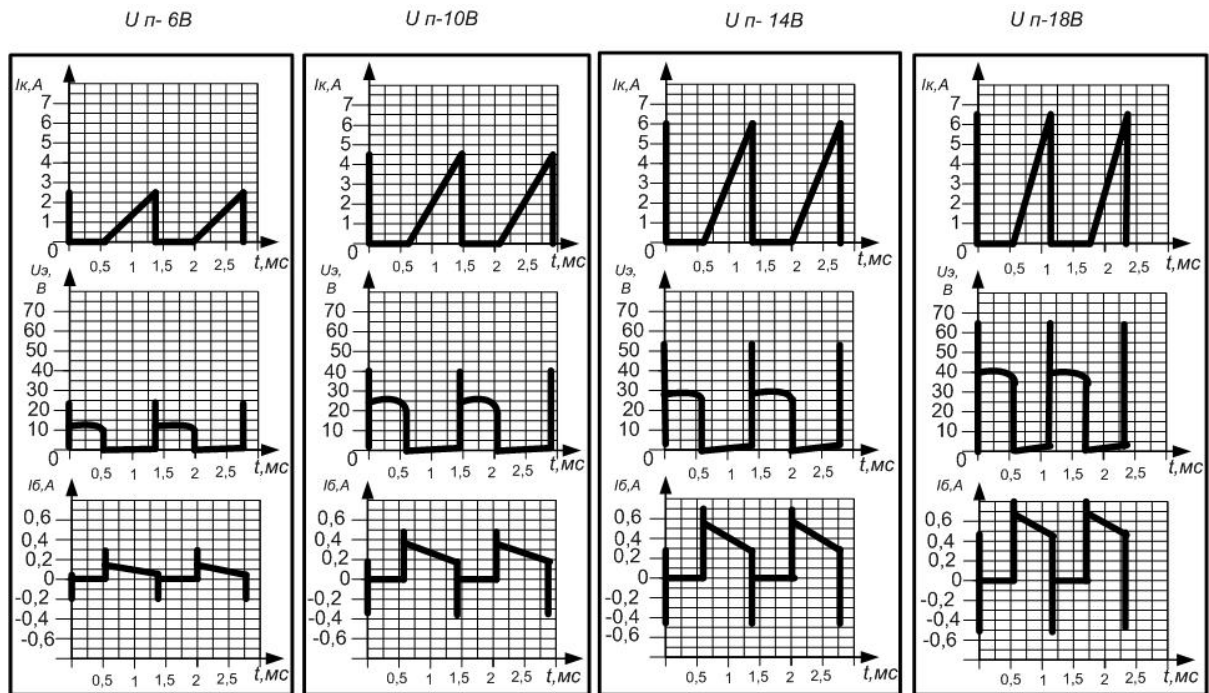


Рис. 8. Временные диаграммы работы ООПН по схеме с общим коллектором с узлом защиты по току силового транзистора  $VT3$  в зависимости от изменения напряжения питания

Результаты экспериментальных исследований ООПН при различных значениях напряжения питания сведены в табл. 2.

Результаты исследования ООПН с узлом защиты по току

Таблица 2

$U_n, В$	6	8	10	12	14	16	18
$I_{потреб}, А$	0,8	1,1	1,4	1,6	1,85	2	2
$U_R, В$	63	83	105	124	140	154	164
$f, Гц$	740	714	714	714	740	769	833

По значениям табл. 2 были проведены расчёты значений мощностей –  $P_1$  и  $P_2$  и КПД -  $\eta$  преобразователя напряжения с узлом защиты по току. По результатам расчётов построены графические зависимости (рис. 9).

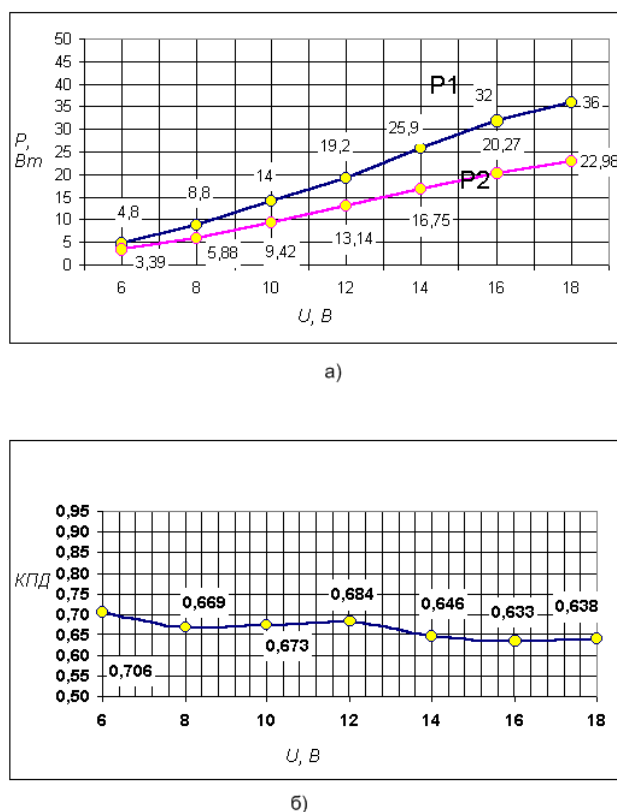


Рис. 9. Графическая зависимость мощностей (а) и КПД (б) ООПН по схеме с общим коллектором с узлом защиты по току силового транзистора  $VT3$  от изменения напряжения питания

После изучения результатов экспериментальных исследований ООПН с узлом защиты по току транзистора  $VT3$  можно сделать вывод, что предложенный узел защиты по току действительно ограничивает максимальный ток коллектора транзистора  $VT3$  на заданном для него уровне. На временной диаграмме видно, что  $I_B$  по-прежнему неконтролируемо растет, поэтому необходимо обеспечить стабилизацию тока обратной связи ООПН при изменении напряжения питания бортовой сети от 6 до 18 В. Так как при малых значениях напряжения питания необходимо уменьшить значение сопротивления  $R6$  (для того, чтобы иметь  $I_B$  достаточный для насыщения транзистора  $VT3$ ), а при больших значениях

напряжения питания следует увеличить значение  $R_6$ , т.е. необходимо стабилизировать  $I_B$  транзистора  $VT_3$ .

Более низкий КПД при  $U_n > 14$  В по сравнению со схемой ООПН (рис. 2) объясняется тем, что при приблизительно одинаковом  $I_B$  силового транзистора из-за ограничения его тока коллектора уменьшается мощность преобразователя напряжения при одинаковом токе потребления.

На рис. 10 приведена разработанная авторами схема ООПН, содержащая один из синтезированных и исследованных узлов стабилизации тока обратной связи.

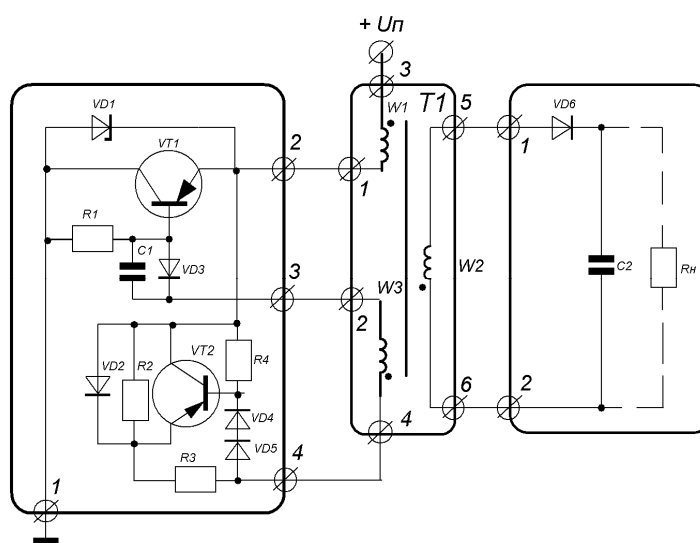


Рис. 10. Схема ООПН с общим коллектором с узлом стабилизации тока обратной связи:

$T1$  – трансформатор содержащий: магнитопровод,  $W1$  – первичная обмотка,

$W2$  – вторичная обмотка,  $W3$  – обмотка обратной связи;  $C1$  – конденсатор;

$C2$  – накопительный конденсатор;  $VD1$  – стабилитрон;  $VD2$  –  $VD6$  – диоды;

$VT1$  – транзистор силовой;  $VT2$  – транзистор;  $R1$  –  $R4$  – резисторы;  $R_n$  – резистор нагрузки

Работа узла стабилизации тока базы транзистора силового транзистора  $VT1$  основана на том что, стабилизируя напряжение на базе транзистора  $VT2$  при различных значениях напряжения питания, стабилизируется ток его коллектора и соответственно  $I_B$  силового транзистора  $VT1$ . Резистор  $R2$  служит для обеспечения положительной обратной связи в момент открытия силового транзистора  $VT1$ , так как транзистор  $VT2$  еще не вступает в работу из-за малого значения напряжения на



обмотке  $W3$ . Диод  $VD2$  служит для шунтирования коллекторно-эмиттерного перехода транзистора  $VT2$  во время обратного хода ООПН.

Полученные в результате экспериментальных исследований временные диаграммы работы ООПН с узлом стабилизации тока обратной связи представлены на рис. 11, где  $I_K$  - ток коллектора силового транзистора  $VT1$ ;  $U_э$  - напряжение на эмиттере силового транзистора  $VT1$  относительно общей шины;  $I_B$  - ток базы силового транзистора  $VT1$ .

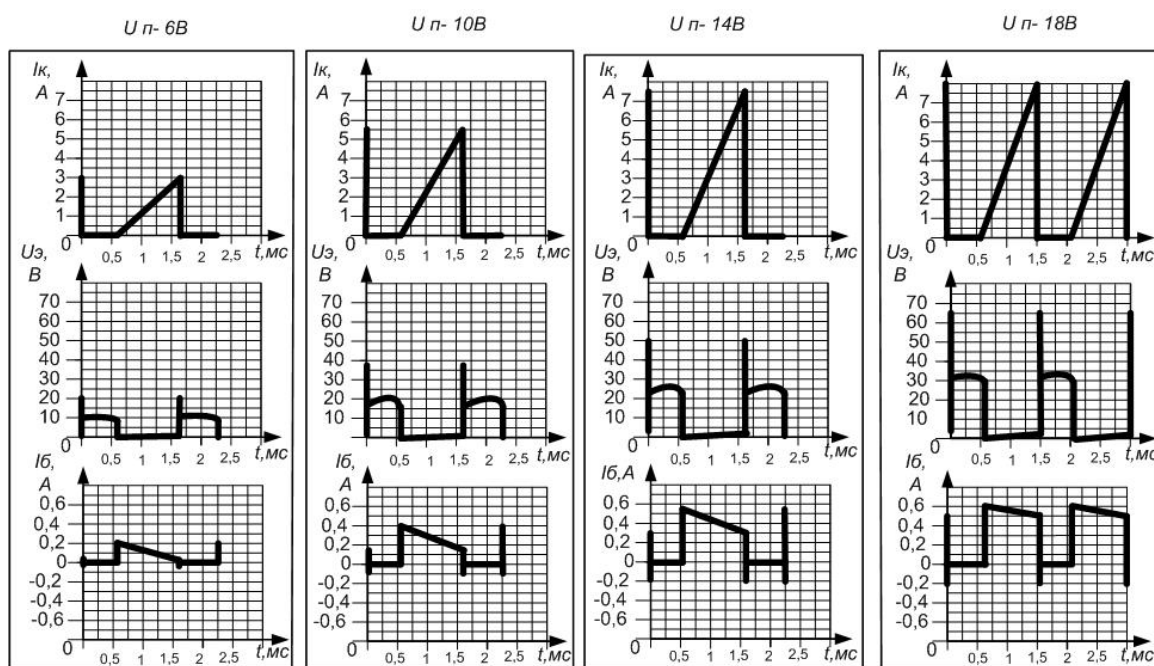


Рис. 11. Временные диаграммы работы ООПН по схеме с общим коллектором с узлом стабилизации тока обратной связи в зависимости от изменения напряжения питания

Результаты экспериментальных исследований при различных значениях напряжения питания сведены в табл. 3.

Результаты исследования ООПН с узлом стабилизации тока обратной связи  
Таблица 3

$U_{п}, В$	6	8	10	12	14	16	18
$I_{потреб}, А$	0,9	1,4	1,8	2,2	2,6	2,8	2,9
$U_R, В$	63	88	112	128	160	180	196
$f, Гц$	645	606	606	606	625	645	666

По значениям табл. 3 были проведены расчёты значений мощностей –  $P_1$  и  $P_2$  и КПД -  $\eta$  ООПН с узлом стабилизации тока обратной связи. По результатам расчётов построены графические зависимости (рис. 12).

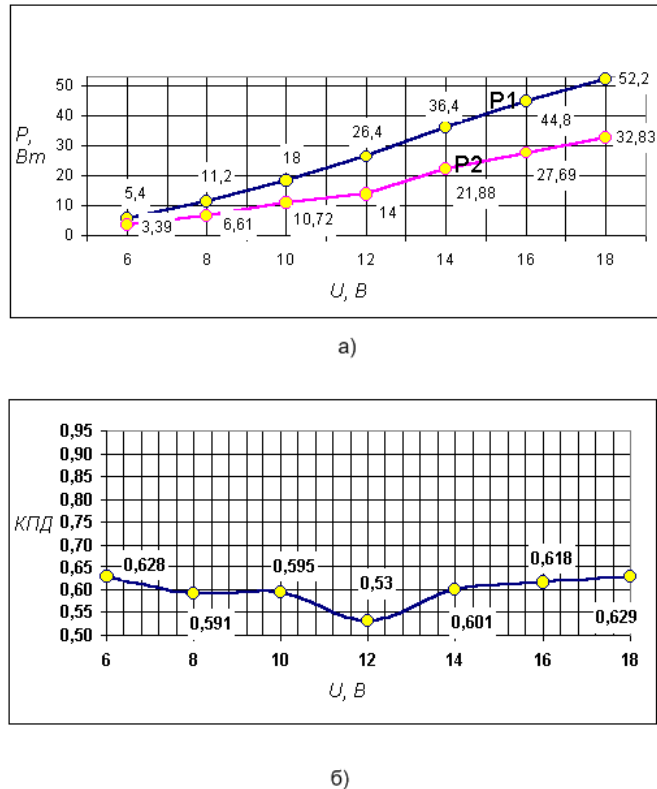


Рис. 12. Графическая зависимость мощностей (а) и КПД (б) ООПН по схеме с общим коллектором с узлом стабилизации тока обратной связи от изменения напряжения питания

На основании экспериментальных исследований данной схемы можно сделать вывод, что узел стабилизации тока обратной связи ООПН отвечает предъявляемым к нему требованиям, так как уменьшились выбросы тока базы силового транзистора в момент его открытия (т.е. они гасятся на  $VT2$ ) и увеличилась мощность ООПН. Повышение мощности во всем диапазоне изменения напряжения питания обеспечивается оптимальным базовым током силового транзистора и максимально возможным значением тока разрыва. Снижение частоты работы ООПН обусловлено увеличением времени достижения максимального значения тока коллектора силового транзистора. На временной диаграмме видно, что ток коллектора силового транзистора  $VT2$  достигает величины 9 А, что совершенно недопустимо для данного типа транзистора. Поэтому для надёжной, безотказной работы ООПН необходимо

совместно с узлом стабилизации тока обратной связи применить также узел защиты по току силового транзистора  $VT1$ .

На основании проведённых патентных и экспериментальных исследований синтезированы различные варианты схем ООПН, одна из которых изображена на рис. 13, где обеспечивается стабилизация тока базы, защита по току и защита силового транзистора от превышения напряжения ЭДС самоиндукции первичной обмотки  $W1$  трансформатора  $T1$ .

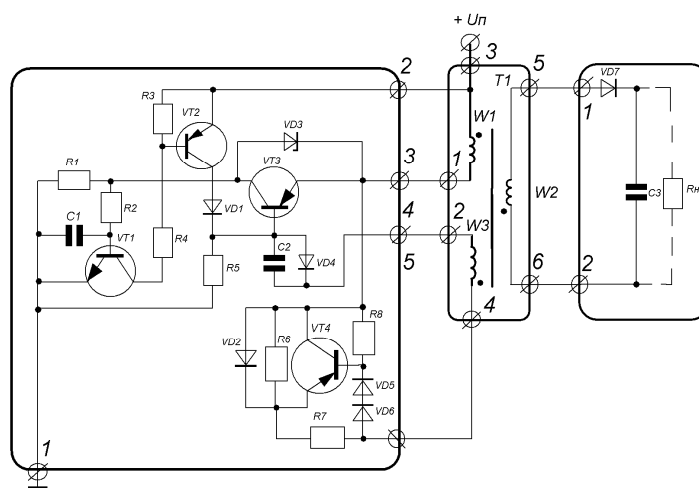


Рис.13. Схема ООПН с общим коллектором с узлами защиты по току коллектора силового транзистора и стабилизации тока обратной связи:

$T1$  – трансформатор содержащий: магнитопровод,  $W1$  – первичная обмотка,  $W2$  – вторичная обмотка,  $W3$  – обмотка обратной связи;  $C1$ ,  $C2$  – конденсаторы;  $C3$  – накопительный конденсатор;  $VD1$ ,  $VD2$ ,  $VD4$  –  $VD7$  – диоды;  $VD3$  – стабилитрон;  $VT1$ ,  $VT2$ ,  $VT4$  – транзисторы;  $VT3$  – транзистор силовой;  $R1$  –  $R8$  – резисторы;  $R_n$  – резистор нагрузки

По результатам экспериментальных исследований при использовании транзисторов прямой проводимости: П217А, КТ837Ф и трансформатора  $T1$  на базе ленточного магнитопровода ШЛ 12\*16 на рис. 14 и 15 приведены временные диаграммы работы ООПН, где  $I_K$  – ток коллектора силового транзистора  $VT3$ ;  $U_3$  – напряжение на эмиттере силового транзистора  $VT3$  относительно общей шины;  $I_B$  – ток базы силового транзистора  $VT3$ ;  $U_{VT4}$  – напряжение, фиксируемое на коллекторно-эмиттерном переходе транзистора  $VT4$ .

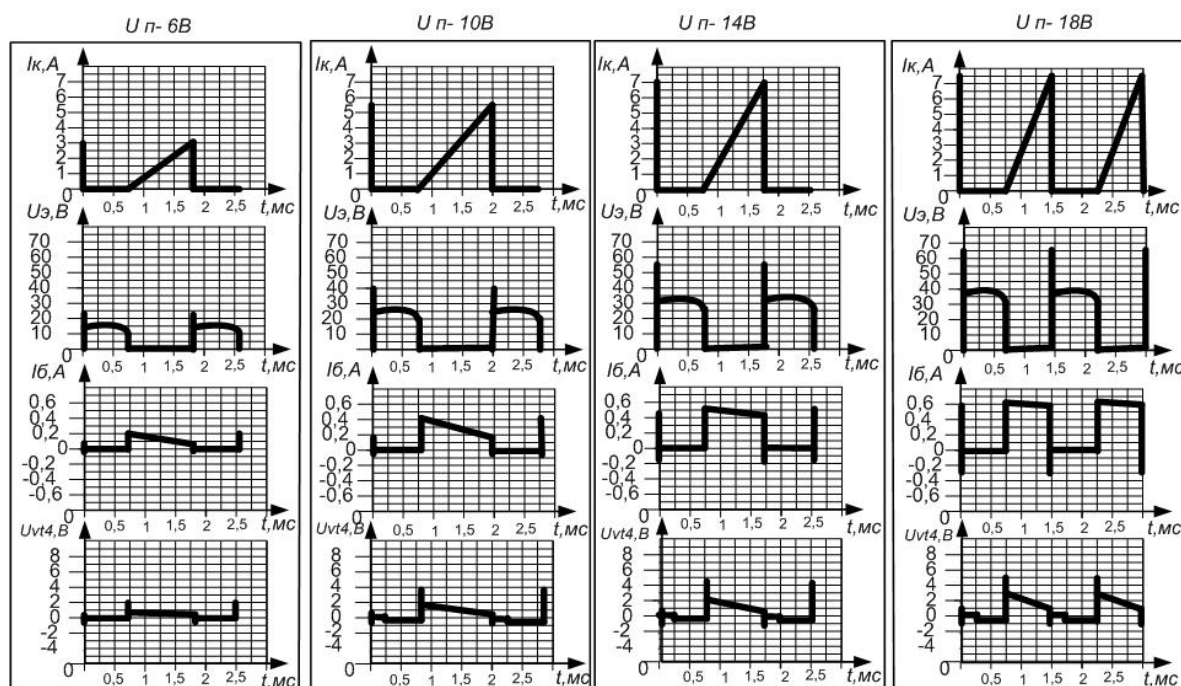


Рис. 14. Временные диаграммы работы ООПН по схеме с общим коллектором на транзисторе П217А с узлами стабилизации тока обратной связи и защиты по току коллектора силового транзистора в зависимости от изменения напряжения питания

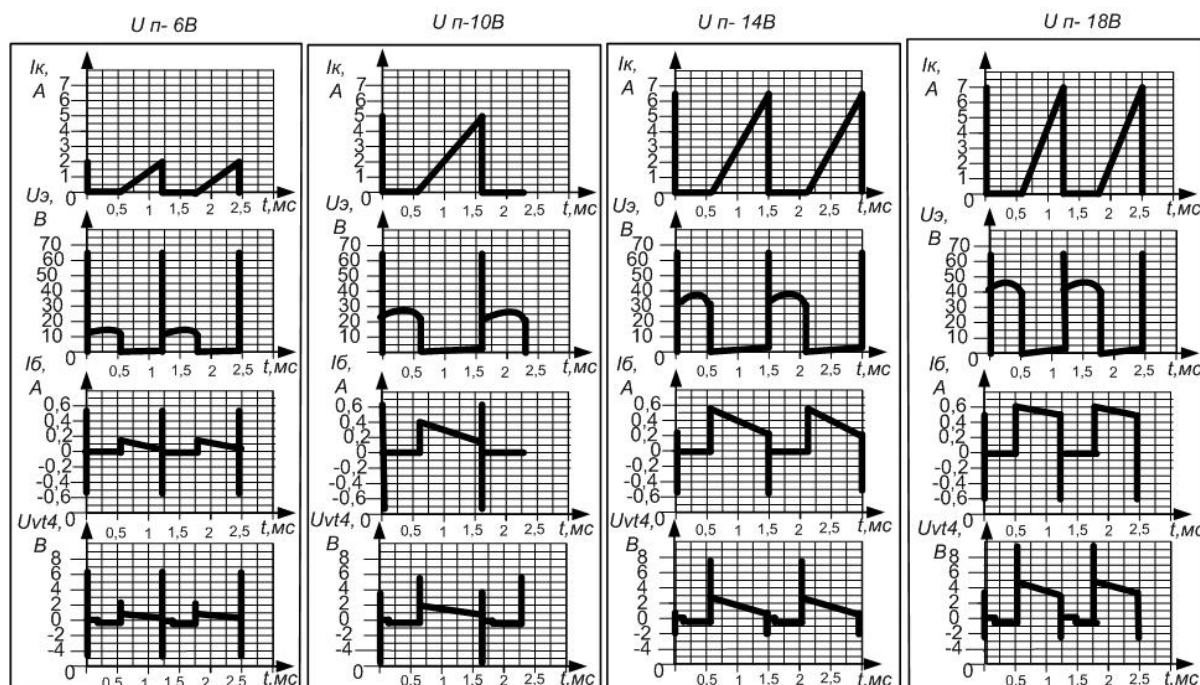


Рис. 15. Временные диаграммы работы ООПН по схеме с общим коллектором на транзисторе КТ837Ф с узлами стабилизации тока обратной связи и защиты по току коллектора силового транзистора в зависимости от изменения напряжения питания

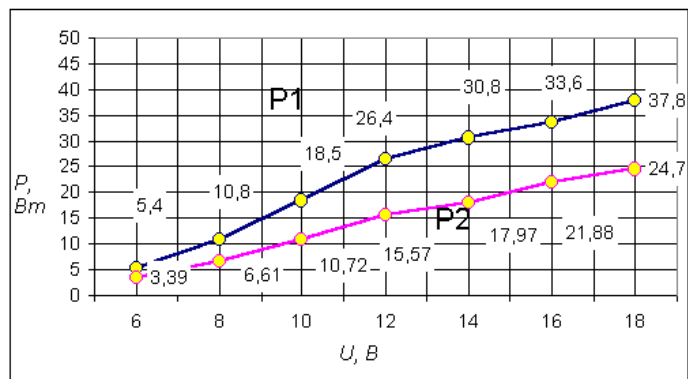
При исследовании ООПН (рис. 13) получены экспериментальные данные при различных значениях напряжения питания. Результаты представлены в табл. 4.

Результаты исследования ООПН на транзисторах П217А, КТ837Ф

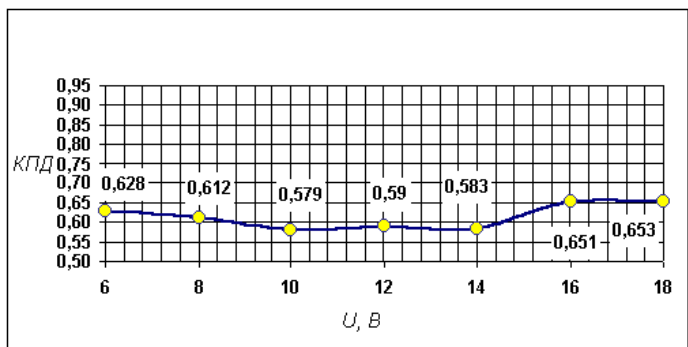
Таблица 4

П217А							
$U_{\text{п}}, \text{В}$	6	8	10	12	14	16	18
$I_{\text{потреб}}, \text{А}$	0,9	1,35	1,85	2,2	2,2	2,1	2,1
$U_{\text{R}}, \text{В}$	63	88	112	135	145	160	170
$f, \text{Гц}$	666	606	606	606	689	769	833
КТ837Ф							
$U_{\text{п}}, \text{В}$	6	8	10	12	14	16	18
$I_{\text{потреб}}, \text{А}$	0,6	1,2	1,7	2,1	2,2	2,15	2,1
$U_{\text{R}}, \text{В}$	56	85	110	133	146	160	170
$f, \text{Гц}$	689	689	625	666	714	833	833

По значениям табл. 4 были проведены расчёты значений мощностей –  $P_1$  и  $P_2$  и КПД –  $\eta$  ООПН. На основании полученных результатов построены графические зависимости (рис.16 и 17).

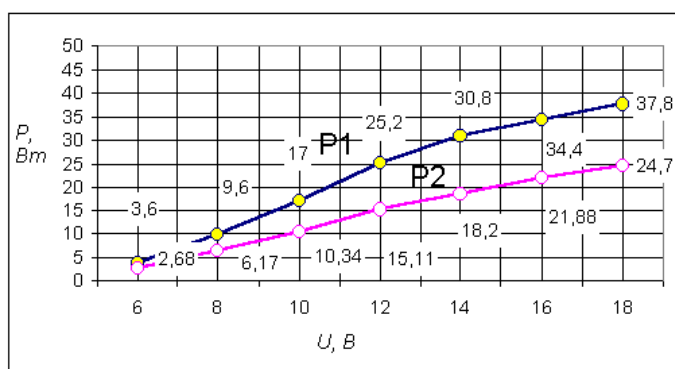


а)

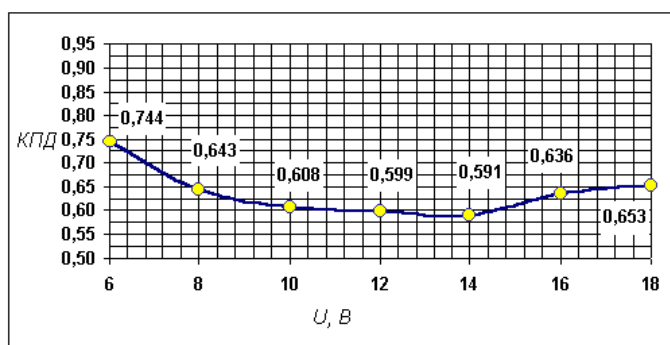


б)

Рис. 16. Графическая зависимость мощностей (а) и КПД (б) ООПН по схеме с общим коллектором на транзисторе П217А с узлами стабилизации тока обратной связи и защиты по току коллектора силового транзистора в зависимости от изменения напряжения питания



а)



б)

Рис. 17. Графическая зависимость мощности (а) и КПД (б) ООПН по схеме с общим коллектором на транзисторе КТ837Ф с узлами стабилизации тока обратной связи и защиты по току коллектора силового транзистора в зависимости от изменения напряжения питания

Более высокая мощность и КПД ООПН на транзисторе КТ837Ф объясняется его более высокими частотными свойствами.

Дальнейшее совершенствование ООПН должно осуществляться в направлении стабилизации на заданном уровне напряжения на накопительном конденсаторе, так как при работе ООПН только на емкостную нагрузку напряжение на конденсаторе превысит его рабочее значение с последующим пробоем конденсатора. Варианты такой стабилизации описаны в [3, 4, 5].

Рассмотрим работу системы стабилизации напряжения, представленной на рис. 18 [3].

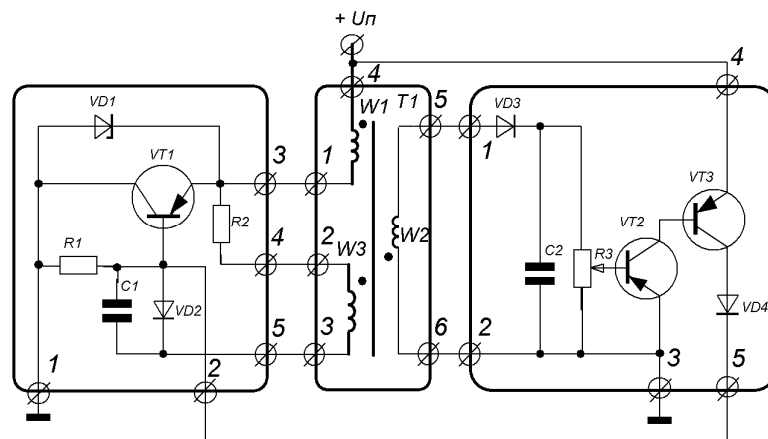


Рис. 18. Схема ООПН со стабилизацией напряжения на накопительном конденсаторе:

$T1$  – трансформатор содержащий: магнитопровод,  $W1$  – первичная обмотка,  $W2$  – вторичная обмотка,  $W3$  – обмотка обратной связи;  $C1$  – конденсатор;  $C2$  – накопительный конденсатор;  $VD1$  – стабилитрон;  $VD2$  –  $VD4$  – диоды;  $VT1$  – транзистор силовой;  $VT2$ ,  $VT3$  – транзисторы;  $R1$  –  $R2$  – резисторы;  $R3$  – потенциометр

При работе ООПН напряжение на накопительном конденсаторе  $C2$  ступенчато увеличивается до тех пор, пока не достигнет заданного значения. При достижении заданного значения открываются транзисторы  $VT2$  и  $VT3$ . Открытый транзистор  $VT3$  через диод  $VD4$  шунтирует базо-эмиттерный переход транзистора  $VT1$ , и он закрывается. Транзистор  $VT1$  остается запертым, и ООПН не работает до тех пор, пока напряжение на накопительном конденсаторе  $C2$  превышает установленное значение. Однако как только напряжение на накопительном конденсаторе уменьшается, например, вследствие утечек через потенциометр  $R3$  или разряда через катушку зажигания, транзисторы  $VT2$  и  $VT3$  закрываются, ООПН вступает в работу и накопительный конденсатор через определенное время дозарядается до значения превышающее на некоторую величину установленное. С помощью потенциометра  $R3$  осуществляется регулировка напряжения на накопительном конденсаторе  $C2$ . При перемещении движка потенциометра вверх (по схеме) транзисторы  $VT2$  и  $VT3$  открываются при меньшем напряжении на накопительном конденсаторе  $C2$  и, наоборот, при перемещении движка потенциометра вниз – при большем напряжении.



На рис. 19 представлен ООПН со стабилизацией на накопительном конденсаторе с гальванической развязкой от вторичной цепи [6].

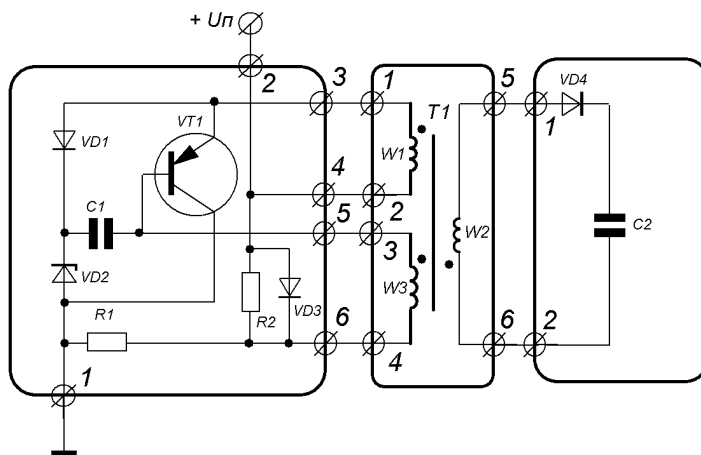


Рис. 19. ООПН со стабилизацией напряжения на накопительном конденсаторе и гальванической развязкой от вторичной цепи:

$T1$  – трансформатор содержащий: магнитопровод,  $W1$  – первичная обмотка,  $W2$  – вторичная обмотка,  $W3$  – обмотка обратной связи;  $C1$  – конденсатор;  $C2$  – накопительный конденсатор;  $VD1, VD3, VD4$  – диоды;  $VD2$  – стабилитрон;  $VT1$  – транзистор силовой;  $R1, R2$  – резисторы

Работу ООПН начнем рассматривать с прямого хода. Диаграмма, показанная на рис. 20, иллюстрирует работу ООПН.

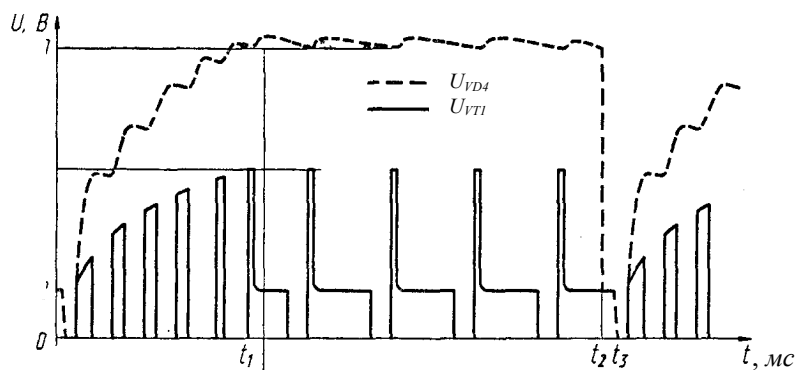


Рис. 20. Диаграмма работы ООПН

Транзистор  $VT1$  открыт и глубина положительной обратной связи достаточна для его насыщения. Нагрузкой транзистора служит обмотка  $W1$  ненагруженного (поскольку диод  $VD4$  закрыт) трансформатора  $T1$ . Ток в этой обмотке линейно увеличивается до тех пор, пока базовый ток силового транзистора  $VT1$ ,

определяемый резистором  $R2$ , в состоянии удерживать силовой транзистор в насыщении. С увеличением тока эмиттера, когда в некоторый момент силовой транзистор выходит из насыщения, ООПН переключается, открывается диод  $VD4$  и накопленная в магнитопроводе трансформатора энергия “сбрасывается” в накопительный конденсатор  $C2$ , увеличивая скачком напряжение на нем, после чего цикл повторяется. По мере зарядки конденсатора  $C2$  амплитуда обратных импульсов на обмотке обратной связи  $W3$  трансформатора  $T1$  увеличивается. Когда она достигнет порога открывания стабилитрона  $VD2$ , его ток будет заряжать конденсатор задержки  $C1$  (момент  $t_1$ , на рис. 20), до этого не принимавший участия в работе. Диод  $VD1$  при этом закрыт, так как напряжение на эмиттере транзистора  $VT1$  меньше напряжения на его базе. По окончании обратного хода напряжение на конденсаторе  $C1$  открывает диод  $VD1$  и конденсатор оказывается подключенным к базе и эмиттеру транзистора  $VT1$  (плюсом к базе). Теперь начало очередного цикла ООПН задерживается на время, необходимое для разрядки конденсатора  $C1$  через обмотку  $W3$ , резистор  $R2$ , обмотку трансформатора  $T1$  и диод  $VD1$ . В результате рабочая частота и потребляемый ООПН ток уменьшается в 10–15 раз. Таким образом, ООПН работает с полной мощностью только при зарядке конденсатора  $C2$ , когда же он заряжается почти до рабочего напряжения, мощность ООПН падает. Минимальная мощность ООПН реализуется при достижении напряжения пробоя стабилитрона  $VD2$  и заряда конденсатора  $C1$  и, соответственно, достижения рабочего напряжения на конденсаторе  $C2$ , например 300 В. Напряжение на конденсаторе  $C2$  через коэффициент трансформации связано с амплитудой импульсов обратного хода на обмотке  $W3$  и, следовательно, стабилизируется стабилитроном  $VD2$ , достигая значения несколько меньше 300 В к тому моменту, когда он начинает открываться. Стабилитрон  $VD2$  через конденсатор  $C1$  соединен с обмоткой  $W3$  трансформатора  $T1$  последовательно с напряжением питания, так как он подключен анодом к минусовому проводу питания, а обмотка  $W3$  через открывающийся одновременно со стабилитроном диод  $VD3$  — к плюсовому, поэтому стабилизирующим фактором является разность между напряжением стабилизации стабилитрона  $VD2$  и напряжением питания. Эта разность

увеличивается с уменьшением напряжения питания, увеличивается и выходное напряжение на конденсаторе  $C2$ , т. е. система стабилизации перекомпенсирована. Резистор  $R1$  определяет мощность ООПН, резистор  $R2$  задает начальное напряжение смещения, необходимое для запуска ООПН в холодную погоду, и определяет ток холостого хода (при заряженном конденсаторе  $C2$ ). Диод  $VD3$  шунтирует при обратном ходе резистор  $R2$  и, снижая сопротивление цепи зарядки конденсатора  $C1$ , задает более четко порог стабилизации. По мере заряда конденсатора  $C2$  увеличивается время накопления энергии в трансформаторе из-за увеличения паузы закрытого состояния транзистора  $VT1$ , но тем не менее, энергия “сбрасывается” в конденсатор  $C2$ , что приводит к неконтролируемому росту напряжения на данном конденсаторе в режиме холостого хода ООПН.

Схема ООПН со стабилизацией напряжения на накопительном конденсаторе с гальванической развязкой от вторичной цепи представлена на рис. 21 [7].

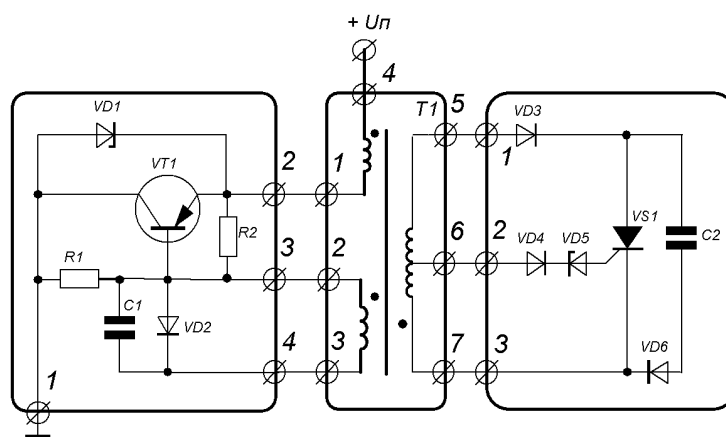


Рис. 21. Схема ООПН со стабилизацией напряжения на накопительном конденсаторе и с гальванической развязкой от вторичной цепи:

$T1$  – трансформатор содержащий: магнитопровод,  $W1$  – первичная обмотка,  $W2$  – вторичная обмотка,  $W3$  – обмотка обратной связи;  $C1$  – конденсатор;  $C2$  – накопительный конденсатор;  $VD1, VD5$  – стабилитроны;  $VD2, VD3, VD4, VD6$  – диоды;  $VT1$  – транзистор силовой;  $R1, R2$  – резисторы;  $VS1$  – тринистор

Во время работы данного ООПН (рис. 21) такты заряда конденсатора  $C2$  следуют одни за другим до тех пор, пока напряжение на стабилитроне  $VD5$  не достигнет порога его открывания, что соответствует, например, напряжению 300 В

на накопительном конденсаторе  $C2$ . Ток через цепь диод  $VD4$  – стабилитрон  $VD5$  откроет тринистор  $VS1$ , который закоротит вторичную обмотку  $W2$  трансформатора  $T1$  и сорвет генерацию. Одновременно закрывается  $VD5$  препятствуя разрядке конденсатора  $C2$  через тринистор  $VS1$ . При уменьшении тока через тринистор  $VS1$  до порога его выключения начинается очередной такт генерации. Если нагрузка от ООПН отключена, то время от включения до выключения тринистора – время, в течение которого генерация отсутствует, – может быть значительным (по крайней мере на порядок меньше и определяется временем спадания магнитного потока в трансформаторе  $T1$ ) и от бортовой сети автомобиля потребляется минимальная мощность.

Экспериментальные исследования схем стабилизации напряжения на накопительном конденсаторе позволяют сделать вывод, что описанная схема стабилизации (рис. 21) является наиболее оптимальной для разрабатываемых ООПН, так как такой ООПН может работать на емкостную нагрузку и обладает максимальной мощностью во время заряда накопительного конденсатора и, что особенно важно, отсутствует неконтролируемый рост напряжения на накопительном конденсаторе.

После проведенных патентных и экспериментальных исследований ООПН можно сформулировать требования, предъявляемые к однотоктным обратногоходовым стабилизированным преобразователям напряжения (ООСПН) [8]:

1. Как любое автомобильное устройство ООСПН должен быть рассчитан на работу при изменении напряжения питания бортовой сети в диапазоне от 6 до 18 В и выключаться при напряжении питания ниже 6 В и выше 18 В.

2. Обязательной является защита от короткого замыкания в ООСПН и изменения полярности подключения источника питания (аккумулятора).

3. Целесообразно разработать такие схемотехнические решения, при которых ООСПН оказался бы нечувствителен к наводкам возникающим в бортовой сети автомобиля.

4. Серьезной является проблема отвода тепла, поскольку в максимально нагруженном ООСПН необходимо рассеивать большую мощность. Основная ее часть

выделяется на силовом транзисторе при импульсном токе в диапазоне от 7 до 15 А и поэтому задача снижения тепловыделения должна решаться за счет максимального снижения падения напряжения на мощном транзисторе, путем использования современных биполярных, БСИТ и полевых транзисторов. Кроме того, необходимо предусмотреть отвод тепла от трансформатора, выполненного на ленточном, пермалоевом сердечниках или ферритовом сердечнике для сильных магнитных полей.

5. Разрабатываемые схемотехнические и конструктивные решения должны иметь хорошую повторяемость, гарантированные параметры и не быть склонными к самовозбуждению и потере работоспособности вне зависимости от разброса характеристик используемых элементов.

6. Высокая надежность должна реализовываться выбором достаточных коэффициентов запаса по нагрузке всех элементов, а также специальными режимами, ограничивающими токи и напряжения на элементах. Эту же цель должны преследовать схемотехнические решения позволяющие уменьшить число используемых силовых элементов.

7. При использовании биполярных или БСИТ транзисторов необходимо обеспечить стабилизацию тока обратной связи ООСПН при изменении напряжения питания бортовой сети от 6 до 18 В.

8. Распространенный вариант защиты по току (срабатывание после достижения порогового значения тока), путем фиксации падения напряжения на опорном резисторе, с использованием тринистора не оправдал себя, из-за большого разброса напряжения срабатывания, поэтому этот узел необходимо выполнять на транзисторах Дарлингтона или на базе триггера на транзисторах разной структуры проводимости с непосредственными связями.

9. Для защиты низковольтного (до 100 В) силового транзистора от превышения напряжения ЭДС самоиндукции первичной обмотки трансформатора  $T1$  необходимо ввести стабилитрон или второй транзистор выполняющий роль мощного стабилитрона. При достижении напряжения пробоя стабилитрона в цепи базы этого транзистора, он открывается и ограничивает ЭДС самоиндукции на

силовом транзисторе на заданном уровне (равном напряжению пробоя стабилитрона).

10. Формулируя принцип работы узла стабилизации ООСПН, нагрузкой которого является лишь конденсатор, можно определить следующие требования к нему: постоянное выходное напряжение преобразователя необходимо сравнить с эталонным (заданным) напряжением и, в зависимости от их соотношения, закорачивать вторичную обмотку трансформатора  $T1$ , так как ООСПН с обратным включением диода не боится режима короткого замыкания. Во время режима короткого замыкания вторичной обмотки ООСПН или сброса энергии с накопительного конденсатора в первичную обмотку катушки зажигания силовой транзистор должен находиться в выключенном состоянии. После медленного убывания магнитного потока трансформатора в режиме короткого замыкания вторичной обмотки и "собственно" прекращения тока во вторичной обмотке необходимо вновь включить силовой транзистор для накопления энергии в трансформаторе. Процесс нарастания тока в первичной обмотке трансформатора необходимо контролировать и при достижении им заданного значения прекращать. Заряд накопительного конденсатора необходимо осуществлять с максимальной интенсивностью и, после достижения рабочего напряжения, ООСПН должен находиться преимущественно в режиме короткого замыкания вторичной обмотки, ток потребления при этом падает как минимум на порядок от максимально возможного и не превышает значения 0,5 А.

11. Для изготовления трансформатора ООСПН лучше всего применить пермалюевые сердечники или сердечники для сильных магнитных полей типа KB14 с зазором в центральном стержне, обеспечивающим линейное намагничивание.

Учитывая все приведенные выше требования, авторами разработаны различные варианты ООСПН по схеме с общим эмиттером и с общим коллектором, по которым в настоящее время оформляются заявки на предполагаемые изобретения. Один из разработанных вариантов ООСПН по схеме с общим эмиттером приведен на рис. 22.

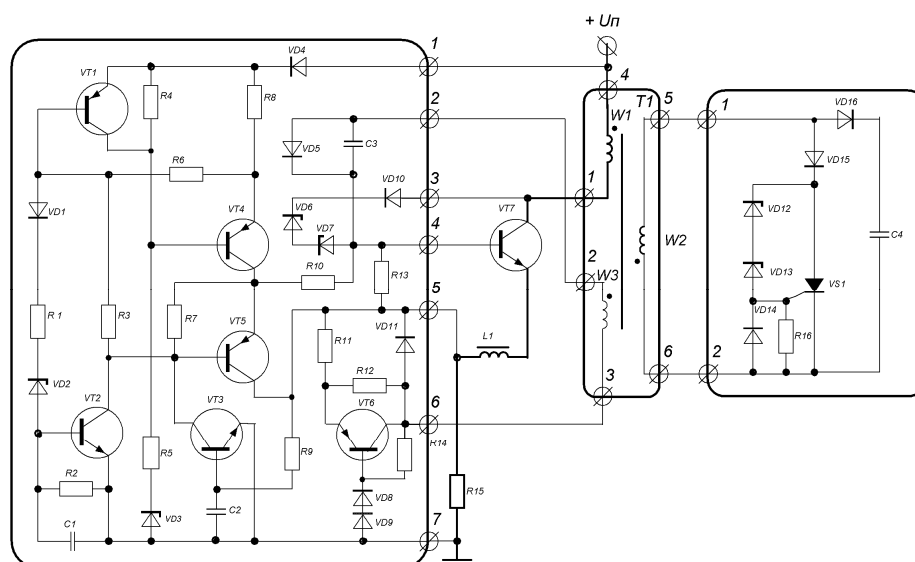


Рис.22. Схема ООСПН с общим эмиттером:

$T1$  – трансформатор содержащий: магнитопровод,  $W1$  – первичная обмотка,  $W2$  – вторичная обмотка,  $W3$  – обмотка обратной связи;  $C1 - C3$  – конденсаторы;  $C4$  – накопительный конденсатор;  $VD1, VD4, VD5, VD8, VD9, VD10, VD11, VD14, VD15, VD16$  – диоды;  $VD2, VD3, VD6, VD7, VD12, VD13$  – стабилитроны;  $VT1 - VT6$  – транзисторы;  $VT7$  – транзистор силовой;  $R1 - R16$  – резисторы;  $L1$  – дроссель;  $VS1$  – тринистор

Рассмотрим работу этого ООСПН. При подаче напряжения питания пробивается (в том случае, если  $U_n$  более 6 В) стабилитрон  $VD3$  и открывается транзистор  $VT4$ . Транзистор  $VT4$  открывается только при  $U_n$  больше  $U_{VD3} + U_{БЭVT4}$ . В том случае если  $U_n$  меньше  $U_{VD3} + U_{БЭVT4}$  стабилитрон  $VD3$  закрыт, транзистор  $VT4$  также закрыт и из-за отсутствия первоначального смещения ООСПН выключен. При подаче  $U_n$  через диод  $VD4$ , резистор  $R8$ , коллекторно-эмиттерный переход открытого транзистора  $VT4$ , резистор  $R10$ , базо-эмиттерный переход транзистора  $VT7$ , дроссель  $L1$ , опорный резистор  $R15$  начинает протекать ток базы силового транзистора  $VT7$ . Силовой транзистор  $VT7$  открывается и происходит накопление энергии в магнитном поле трансформатора  $T1$ . После достижения током коллектора силового транзистора  $VT7$  заданного значения вступает в действие узел ограничения тока на транзисторах  $VT3$  и  $VT5$ . При открытии транзистора  $VT3$  транзистор  $VT5$  открывается и шунтирует базо-эмиттерный переход силового транзистора  $VT7$ , который начинает закрываться, и из-за действия положительной обратной связи

происходит лавинообразное уменьшения и инвертирование базового тока транзистора  $VT7$  и он закрывается.

Защита силового транзистора  $VT7$  от превышения ЭДС самоиндукции первичной обмотки  $W1$  трансформатора осуществляется применением стабилитронов  $VD6$  и  $VD7$ , которые открываются (пробиваются) при заданном напряжении и приоткрывают силовой транзистор на небольшой промежуток времени ограничивая тем самым максимальное значение ЭДС самоиндукции первичной обмотки  $W1$  трансформатора  $T1$ . На этом заканчивается прямой ход работы ООСПН. Во время обратного хода ООСПН энергия, накопленная в магнитном поле трансформатора, расходуется на заряд накопительного конденсатора  $C4$ , который заряжается до напряжения зависящего от его емкости и энергии накопленной в магнитном поле трансформатора  $T1$  во время прямого хода ООСПН. Напряжение на накопительном конденсаторе возрастает ступенчато. В момент достижения заданного значения напряжения на накопительном конденсаторе  $C4$ , равного напряжению пробоя стабилитронов  $VD12$ ,  $VD13$  открывается тринистор  $VS1$  который закорачивает обмотку  $W2$  трансформатора  $T1$ . При этом исчезает положительная обратная связь, силовой транзистор закрывается и генерация срывается. Стабилизация базового тока транзистора  $VT7$  осуществляется узлом стабилизации базового тока состоящим из транзистора  $VT6$ , диодов  $VD8$  и  $VD9$  и резисторов  $R11$ ,  $R12$ ,  $R14$ . Работа узла была описана выше. При напряжении питания более 18 В стабилитрон  $VD2$  пробивается и открываются транзисторы  $VT1$  и  $VT2$ , что приводит к закрыванию транзистора  $VT7$  и выключению ООСПН. Стабилизация тока начального смещения в диапазоне изменения напряжения питания от 6 до 18 В осуществляется применением узла стабилизации на базе транзисторов  $VT1$  и  $VT4$ . Защита от изменения полярности подключения источника питания (аккумулятора) осуществлена введением диода  $VD4$  и предохранителя. Силовой транзистор  $VT7$  имеет диод, подключенный параллельно-встречно коллекторно-эмиттерному переходу (на рис. 22 не показан).



## Заключение

По результатам проведенных патентных исследований, анализа патентно-технической литературы, экспериментальных исследований известных и вновь синтезированных схемотехнических решений ООПН можно сделать вывод, что разработанная авторами схема ООСПН (рис. 22) является наиболее оптимальной при разработке новых структурных, функциональных и принципиальных схем тиристорных систем зажигания.

ТСЗ, с разработанным авторами ООСПН, может использоваться в качестве окончательного каскада в существующих и вновь разрабатываемых многопараметрических микропроцессорных системах управления (МПСУ) ДВС.

По результатам экспериментальных исследований ООСПН разработан и внедрен в учебный процесс в курсе “Электрооборудование автомобилей” лабораторный стенд “Исследование работы тиристорных модулей зажигания”. Описание лабораторной работы “Исследование работы тиристорных модулей зажигания” приведено в приложении А. Акт внедрения результатов научного исследования ООСПН приведен в приложении Б.

### Список использованных источников

1. Власов Ю. Стабилизированный одноктактный преобразователь напряжения// Радио. – 1999.– №3. – С. 37–39.
2. А. С. 2010104 SU, МКИ<sup>5</sup> F 02 Р 3/04. Электронная система зажигания / Татауров В.Ф. – № 5045243/21; Заявлено 09.01.92; // Оpubл. 30.03.94 Бюл. № 6 // Открытия. Изобретения. – 1994. – №6.
3. А. С. 1184320 SU, МКИ<sup>5</sup> F 02 Р 3/04. Батарейная система зажигания для ДВС / Синельников А.Х., Курченко А.Г. – № 3684557/21; Заявлено 03.01.84; Оpubл. 30.03.91 Бюл. № 12 // Открытия. Изобретения. – 1991. – №12.
4. А. С. 1433129 SU, МКИ<sup>5</sup> F 02 Р 3/04. Система зажигания для ДВС / Боричев Б.Г., Голтарев О.Н. – № 4133398/24-21; Заявлено 14.07.86; Оpubл. 30.12.90 Бюл. № 48 // Открытия. Изобретения. – 1990. – №48.
5. А. С. 1353038 SU, МКИ<sup>5</sup> F 02 Р 3/04. Батарейная система зажигания для ДВС / Боричев Б.Г., Курченко А.Г. – № 3952127/21; Заявлено 24.07.85; Оpubл. 23.05.91 Бюл. № 19 // Открытия. Изобретения. – 1991. – №19.
6. Ю. Сверчков. Стабилизированный многоискровой блок зажигания// Радио. – 1982. – №5. – С. 27–30.
7. М. Брижинеv. Стабилизация напряжения преобразователя// Радио. – 1984. – №10. – С. 30–31.
8. Шаронов Г.И. Стабилизированный одноктактный преобразователь напряжения для тиристорных модулей зажигания /Г.И. Шаронов, А.С. Ширшиков, В.И. Викулов// Проблемы качества и эксплуатации автотракторных средств: Материалы II междунар. науч.-техн. конф., Пенза, май 2002 г.– Пенза, 2002. – Ч. 1. – С. 101–105.
9. Патент 2156023 RU, МКИ<sup>6</sup> F 05 Р 1/569. Устройство электронного зажигания / Котов Л.Н., Воробьев А.С. – № 95114210/06; Заявлено 07.08.95; Оpubл. 20.08.98 Бюл. № 23 // Открытия. Изобретения. – 1998. – №23.
10. Патент 2117817 RU, МКИ<sup>6</sup> F 02 Р 3/00. Устройство электронного зажигания / Котов Л.Н., Воробьев А.С. – № 95114210/06; Заявлено 07.08.95; Оpubл. 20.08.98 Бюл. № 23 // Открытия. Изобретения. – 1998. – №23.

11. А. С. 1465612 SU, МКИ<sup>4</sup> F 02 Р 3/06. Электронная система зажигания ДВС / Ермаков С.И. – № 4220722/24-21; Заявлено 03.04.87; Опубл. 15.03.89 Бюл. № 10 // Открытия. Изобретения. – 1989. – №10.
12. А. С. 1097007 SU, МКИ<sup>3</sup> F 02 Р 3/06. Устройство батарейного зажигания / Алексеев А.Н., Воробьев Ю.А. – № 3528678/18-21; Заявлено 30.12.82; // Открытия. Изобретения. – 1982.
13. Патент 5183024 US, МКИ<sup>4</sup> F 02 Р 3/06. Электронная система зажигания ДВС / Ермаков С.И. – № 4220722/24-21; Заявлено 03.04.87; Опубл. 15.03.89 Бюл. № 10 // Открытия. Изобретения. – 1989. – №10.
14. А. С. 1812333 SU, МКИ<sup>5</sup> F 02 Р 3/06. Устройство электронного зажигания / Зарщиков В.А. – № 4836362/21; Заявлено 24.04.90; Опубл. 30.04.93 Бюл. № 16 // Открытия. Изобретения. – 1993. – №16.
15. А. С. 1772403 SU, МКИ<sup>5</sup> F 02 Р 3/06. Тиристорная система электронного зажигания / Шаронов Г.И., Володин И.М. и др. – № 4715444/21; Заявлено 19.05.89; Опубл. 30.10.92 Бюл. № 40 // Открытия. Изобретения. – 1992. – №40.
16. А. С. 1470989 SU, МКИ<sup>4</sup> F 02 Р 3/06. Электронная система зажигания / Марченко В.М., Вашкевич Ю.И. – № 4288561/24-21; Заявлено 24.07.87; Опубл. 07.04.89 Бюл. № 13 // Открытия. Изобретения. – 1989. – №13.
17. Патент 0780570 EP, МКИ<sup>6</sup> F 02 Р 3/05. Semiconductor ignition circuit device with current limitation for internal combustion engine / Furuhashi, Shoichi – № 96120254.6; Заявлено 17.12.96; Опубл. 25.06.97 Бюл. № 26 // Открытия. Изобретения. – 1997. – №60.
18. Патент 5318002 US, МКИ<sup>6</sup> F 02 Р 3/06. Ignition apparatus for internal combustion engine / Hiroshi Okuda, – № 769318; Заявлено 16.03.92; Опубл. 12.03.93 // Открытия. Изобретения. – 1993.
19. Синельников А.Х. Электроника в автомобиле. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: «Энергия», 1976. – 128 с. (Массовая радиобиблиотека; Вып. 922).
20. Синельников А.Х. Электроника в автомобиле. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 96 с. (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1084).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное)

Лабораторная работа

### “ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТИРИСТОРНЫХ МОДУЛЕЙ ЗАЖИГАНИЯ”

**1. Цель работы:** Изучить принцип работы одноканальных тиристорных модулей зажигания, инициирующий разряд в которых имеет емкостную и индуктивную составляющие.

#### **1. Состав тиристорных модулей зажигания (ТМЗ)**

ТМЗ состоит:

1. Однотактный обратногоходовой стабилизированный преобразователь напряжения (ООСПН).
2. Трансформатор  $T1$ .
3. Система формирования инициирующего разряда.
4. Катушка зажигания КЗ.

**ООСПН (рис. 1) состоит:**

- Силовой транзистор  $VT1$ , коммутирующий ток в первичной обмотке  $W_1$  трансформатора  $T1$ ;
- Блок 1 ограничения тока коллектора силового транзистора  $VT1$ ;
- Блок 2 стабилизации тока базы силового транзистора  $VT1$ ;
- Времязадающий конденсатор  $C1$ ;
- Резисторы  $R1 - R3$ ;
- Трансформатор  $T1$  состоящий из магнитопровода, первичной обмотки  $W1$ , вторичной (высоковольтной) обмотки  $W2$  и обмотки обратной связи  $W3$ ;
- Диоды  $VD1, VD2$ .

**Система формирования инициирующего разряда (рис. 2) состоит:**

- Блок 3 ограничения напряжения на накопительных конденсаторах  $C2$  и  $C3$ ;
- Блок 4 мощного (пускового) режима;
- Блок 5 режима само запуска системы;
- Электронный ключ 6;
- Блок 7 оптимизации параметров инициирующего разряда;
- Основной (рабочий) конденсатор  $C2$ ;
- Конденсатор  $C3$  мощного (пускового) режима;
- Диоды  $VD2$ ,  $VD3$ ;
- Ключ  $K2$  включения режима само запуска системы;
- Ключ  $K3$  включения мощного (пускового) режима.

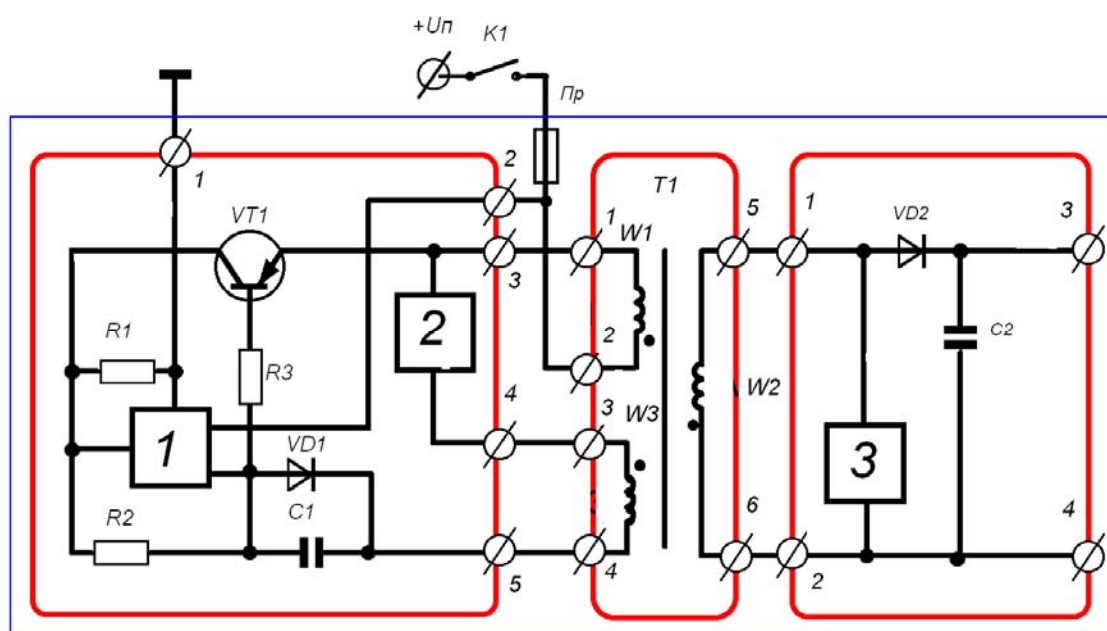


Рис. 1. Схема ООСПН

### 3. Принцип работы ООСПН

ООСПН (рис.1) работает следующим образом. При подаче напряжения питания через прямо-смещенный эмиттерный переход транзистора  $VT1$ , резисторы  $R2$ ,  $R3$  и

блок 2 начинает течь ток базы ( $I_B$ ). Базовый ток силового транзистора  $VT1$  стабилизируется блоком 2 на определенном уровне, достаточном для перехода транзистора в режим насыщения. В результате чего транзистор  $VT1$  открывается и почти полное напряжение питания прикладывается к обмотке  $W1$  трансформатора  $T1$  и через нее начинает протекать ток ( $I_K$ ). Магнитодвижущая сила  $I_K \cdot W1$  возбуждает в магнитопроводе магнитный поток  $\Phi$ . Этот магнитный поток индуцирует в первичной обмотке  $W1$  трансформатора  $T1$  ЭДС самоиндукции, а в остальных обмотках ЭДС индукции. Сильная положительная обратная связь осуществляемая обмоткой обратной связи  $W3$  через блок 2, резистор  $R3$ , эмиттерный переход транзистора  $VT1$  и диод  $VD1$  обуславливает лавинообразный характер нарастания  $I_B$  и такой же характер уменьшения разности потенциалов между коллектором и эмиттером силового транзистора  $VT1$ . В некоторый момент разница потенциалов между коллектором и эмиттером транзистора  $VT1$  снижается до единиц долей Вольт и  $VT1$  переходит в режим насыщения. Линейно нарастающий, по закону коммутации, ток в первичной обмотке трансформатора  $W1$  приводит к постепенному насыщению сердечника трансформатора и, как следствие, уменьшению коэффициента трансформации. Это приводит к тому, что  $I_B$  насыщенного трансформатора  $T1$  падает с ростом  $I_K$ , падения напряжения между коллектором и эмиттером возрастают и увеличивается мощность рассеиваемая в выходной цепи транзистора  $VT1$ . Во время протекания тока через первичную обмотку трансформатора  $W1$  происходит накопление энергии в магнитном поле трансформатора.

Ток в первичной обмотке  $W1$  трансформатора возрастает до тех пор, пока обеспечивается насыщение транзистора  $VT1$ , т.е. пока соблюдается условие

$$I_K \leq I_B \cdot h_{219}, \quad (1)$$

где  $h_{219}$  – коэффициент передачи тока базы транзистора в режиме насыщения.

При достижении тока коллектора значения  $I_K = I_B \cdot h_{219}$ , которое будет называть током разрыва, транзистор  $VT1$  начинает закрываться (Это справедливо при малых напряжениях питания. При больших значениях напряжения питания вступает в действие блок 1 ограничения тока коллектора силового транзистора  $VT1$ ).

Напряжение на нем увеличивается, а на первичной обмотке  $W1$  уменьшается. Вследствие этого напряжение на обмотке  $W3$  также уменьшается. Из-за действия цепи положительной обратной связи происходит лавинообразное снижение и инвертирование базового тока, вызывая закрытие силового транзистора  $VT1$ . На этом заканчивается прямой ход работы преобразователя. Диод  $VD4$  во время прямого хода закрыт, так как к его аноду приложен отрицательный потенциал. После разрыва тока в обмотке  $W1$  трансформатора  $T1$  начинается обратный ход работы ООСПН. Энергия накопления в магнитном поле трансформатора  $T1$ , создает в его обмотках импульсы напряжения противоположной полярности. Положительный импульс с конца обмотки  $W2$  открывает диод  $VD4$  и заряжает накопительный конденсатор  $C2$  до напряжения, зависящего от энергии, накопленной в магнитном поле трансформатора во время прямого хода, и емкости накопительного конденсатора. Положительное напряжение с конца обмотки  $W3$  через конденсатор  $C1$  и резистор  $R3$  прикладывается к базе транзистора  $VT1$  и закрывает его.

После окончания действия импульса обратного хода напряжение на обмотках  $W2$  и  $W3$  падает до нуля и транзистор  $VT1$  током, протекающим через его базо-эмиттерный переход и резисторы  $R2$ ,  $R3$  открывается, и начинается новое накопление энергии в магнитном поле трансформатора  $T1$ . Напряжение на накопительном конденсаторе  $C2$  возрастает ступенчато. Когда напряжение на конденсаторе  $C2$  достигает определенного значения, вступает в действие блок стабилизации напряжения 3, который закорачивает обмотку  $W2$  трансформатора  $T1$  в момент достижения заданного напряжения, определяемого параметрами блока 3.

Блок 1 ограничения тока коллектора транзистора  $VT1$  работает следующим образом. При увеличении тока коллектора силового транзистора, протекающего через первичную обмотку  $W1$  трансформатора  $T1$ , транзистор  $VT1$  и резистор  $R1$  увеличивается падение напряжения на резисторе  $R1$ . Это падение напряжения поступает на вход блока 1. В момент, когда падение напряжения на резисторе  $R1$  становится равным 0,7 В блок 1 срабатывает и подает положительный потенциал через резистор  $R3$  на базу транзистора  $VT1$ . Это приводит к изменению тока

коллектора транзистора  $VT1$  (его исчезновению). Т.е. изменяя номинал резистора  $R1$  можно ограничить ток коллектора силового транзистора  $VT1$  на определенном уровне.

Развивается регенеративный процесс закрытия транзистора  $VT1$  и изменение полярности напряжения приложенного к базо-эмиттерному переходу силового транзистора  $VT1$ , осуществляемого обмоткой  $W3$  через конденсатор  $C1$  и резистор  $R3$ . В результате транзистор  $VT1$  закрывается и ток в обмотке  $W1$  трансформатора  $T1$  прерывается. При этом условие  $I_k \leq I_B \cdot h_{21Э}$  не соблюдается. Далее процессы повторяются аналогично описанным выше.

Блок 2 стабилизации базового тока транзистора  $VT1$  работает следующим образом. Блок 2 стабилизации базового тока транзистора  $VT1$  обеспечивает стабильное значение  $I_B$  силового транзистора  $VT1$  в диапазоне изменения напряжения питания от 6 до 18 В, что гарантирует насыщение транзистора и исключает резкое повышение  $I_B$  силового транзистора при увеличении напряжений питания бортовой сети автомобиля.



#### 4. Принцип работы системы формирования инициирующего разряда

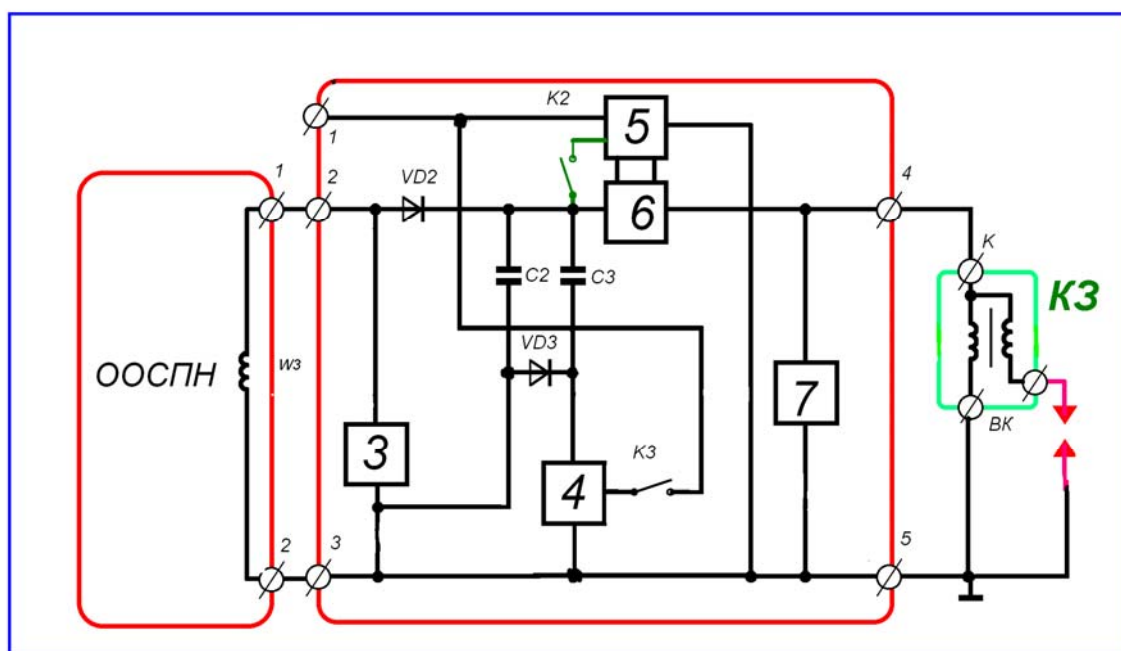


Рис. 2. Система формирования инициирующего разряда

Система формирования инициирующего разряда (рис. 2) работает следующим образом. После заряда конденсатора  $C2$  (а в мощном режиме и  $C3$  при замкнутом ключе  $K3$ ) до рабочего напряжения, при замкнутом ключе  $K2$ , блок 5 режима само запуска системы подает сигнал управления на блок 6 и электронный ключ, представляющий собой тринистор, срабатывает (открывается). В момент открытия электронного ключа 6 первичная обмотка катушки зажигания подключается к заряженному до рабочего напряжения конденсатору  $C2$  (а в мощном режиме и к  $C3$ ). Первичная обмотка  $W1$  катушки зажигания и конденсаторы соединенные между собой через блок 6 образуют колебательный контур, в котором возникают затухающие колебания. Напряжение на конденсаторах уменьшается (они разряжаются), ток в это время в колебательном контуре через первичную обмотку  $W1$  катушки зажигания растет. Скорость нарастания напряжения на первичной обмотке катушки зажигания определяется временем переключения электронного ключа 6 (в качестве которого выступает тринистор). В момент, когда напряжение на конденсаторах становится равным нулю, ток в колебательном контуре достигает максимального значения (десятки Ампер). С этого момента источником энергии

является катушка зажигания. Напряжение на первичной обмотке катушки зажигания меняет полярность (из-за появления ЭДС самоиндукции первичной обмотки катушки зажигания), а ток в контуре сохраняет свое первоначальное направление. Происходит перезаряд конденсаторов  $C2$  и  $C3$  через блок 6. После достижения напряжения обратного знака 51–56 В на накопительных конденсаторах срабатывает блок 7 и напряжение конденсатора  $C2$  через открытый блок 7 прикладывается к блоку 6, способствуя его быстрому выключению. Это повышает надежность работы ТМЗ. После выключения блока 6 начинается заряд конденсатора  $C2$  до рабочего напряжения. После срабатывания блока 7 ток в контуре начинает протекать по цепи: зажим ВК катушки зажигания – блок 7 – зажим К катушки зажигания, уменьшаясь по величине. После спадания тока в контуре и заряда конденсатора  $C2$  до рабочего напряжения, система готова к формированию инициирующего разряда. Во время протекания тока через первичную обмотку  $W1$  катушки зажигания происходит трансформация энергии во вторичную цепь катушки зажигания. Но скорость нарастания напряжения во вторичной цепи определяется распределенными емкостями – вторичной обмотки катушки зажигания, высоковольтных проводов, датчика-распределителя, свечей зажигания. Через 25–30 мкс напряжение на электродах свечи достигает напряжения пробоя в искровом промежутке свечи зажигания. Формируется емкостная составляющая инициирующего разряда длительностью несколько микросекунд и током десятки ампер, которая обусловлена разрядом распределенных емкостей (преимущественно емкостью свечи зажигания). После окончания емкостной фазы формируется индуктивная фаза инициирующего разряда длительностью 0,6–0,8 мс. Максимальное значение тока в искровом промежутке свечи зажигания достигает сотен мА.

В ТМЗ предусмотрено наличие мощного (пускового) режима с увеличенной плотностью тока, большей поверхностью и объемом инициирующего разряда, что позволяет надежно запускать двигатель при температуре до минус 30 °С без предварительного подогрева топливовоздушной смеси. Включение мощного (пускового) режима производится замыканием ключа  $K3$  (рис. 2). При этом через замкнутый ключ  $K1$  от источника питания подается положительный потенциал на

## 5. Работа структурной схемы ТМЗ

Структурная схема ТМЗ приведена на рис. 3.

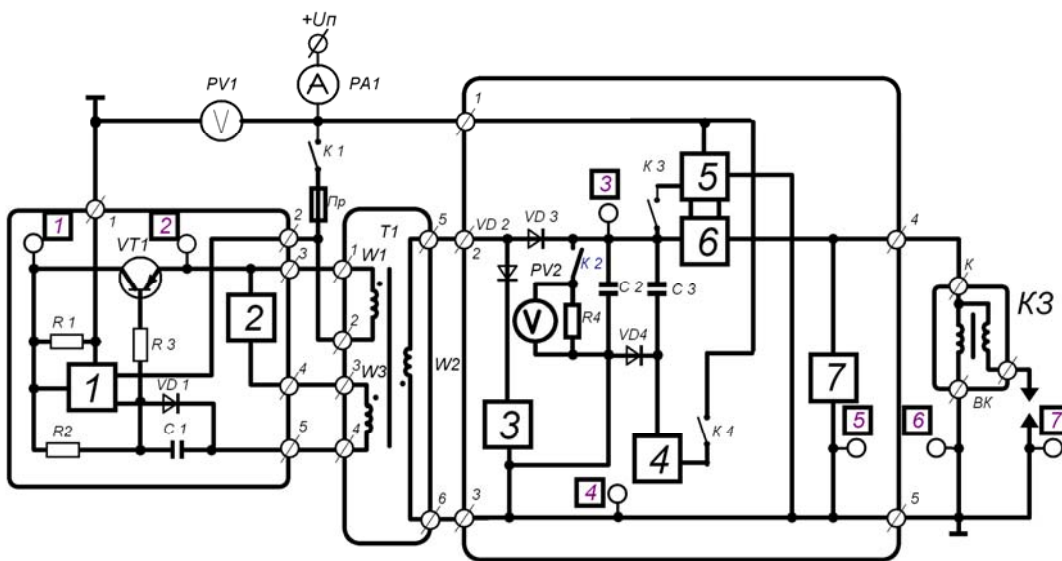


Рис. 3. Структурная схема ТМЗ

Алгоритм работы ООСПН поясняется временными диаграммами, снятыми в контрольных точках (1, 2), представленными на рис. 4,

где:

1. напряжение на эмиттере силового транзистора  $VT1$  относительно общей шины, при заряде накопительного конденсатора  $C2$ , снятое в точке 2 (а).
2. напряжение на накопительном конденсаторе  $C2$ , в процессе заряда, снятое в точке 3 (б).
3. ток коллектора силового транзистора  $VT1$ , при работе ООСПН на резистивную нагрузку  $R4$ , снятый в точке 1 (в).
4. напряжение на эмиттере силового транзистора  $VT1$  относительно общей шины, при работе ООСПН на резистивную нагрузку  $R4$ , снятое в точке 2 (г).

Алгоритм работы системы формирования инициирующего разряда поясняется временными диаграммами, снятыми в контрольных точках (3–7), представленными на рис. 5,

где:

1. напряжение на накопительном конденсаторе  $C2$ , в режиме само запуска ТМЗ, снятое в точке 3 (а); при мощном (пусковом) режиме на накопительных конденсаторах  $C2$  и  $C3$  (е).
2. ток протекаемый через блок 6, в режиме само запуска ТМЗ, снятый в точке 4 (б); в мощном (пусковом) режиме (ж).
3. ток протекаемый через блок 7, в режиме само запуска ТМЗ, снятый в точке 5 (в); в мощном (пусковом) режиме (з).
4. ток протекаемый в первичной обмотке  $W1$  катушки зажигания, в режиме само запуска ТМЗ, снятый в точке 6 (г); в мощном (пусковом) режиме (и).
5. ток протекаемый во вторичной обмотке  $W2$  катушки зажигания, в режиме само запуска ТМЗ, снятый в точке 7 (д); в мощном (пусковом) режиме (к).

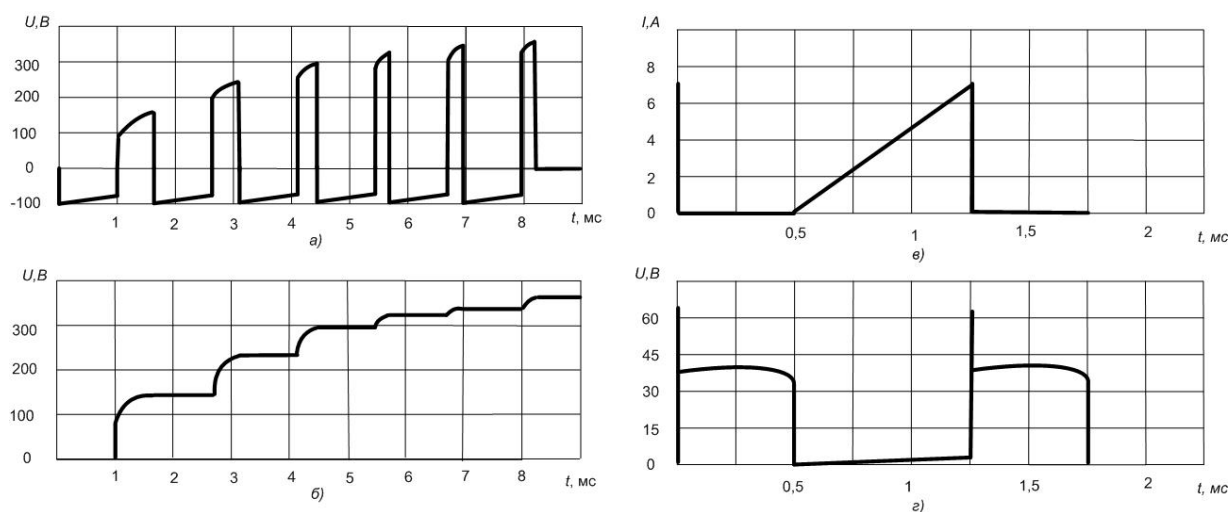


Рис. 4. Временные диаграммы работы ООСПН

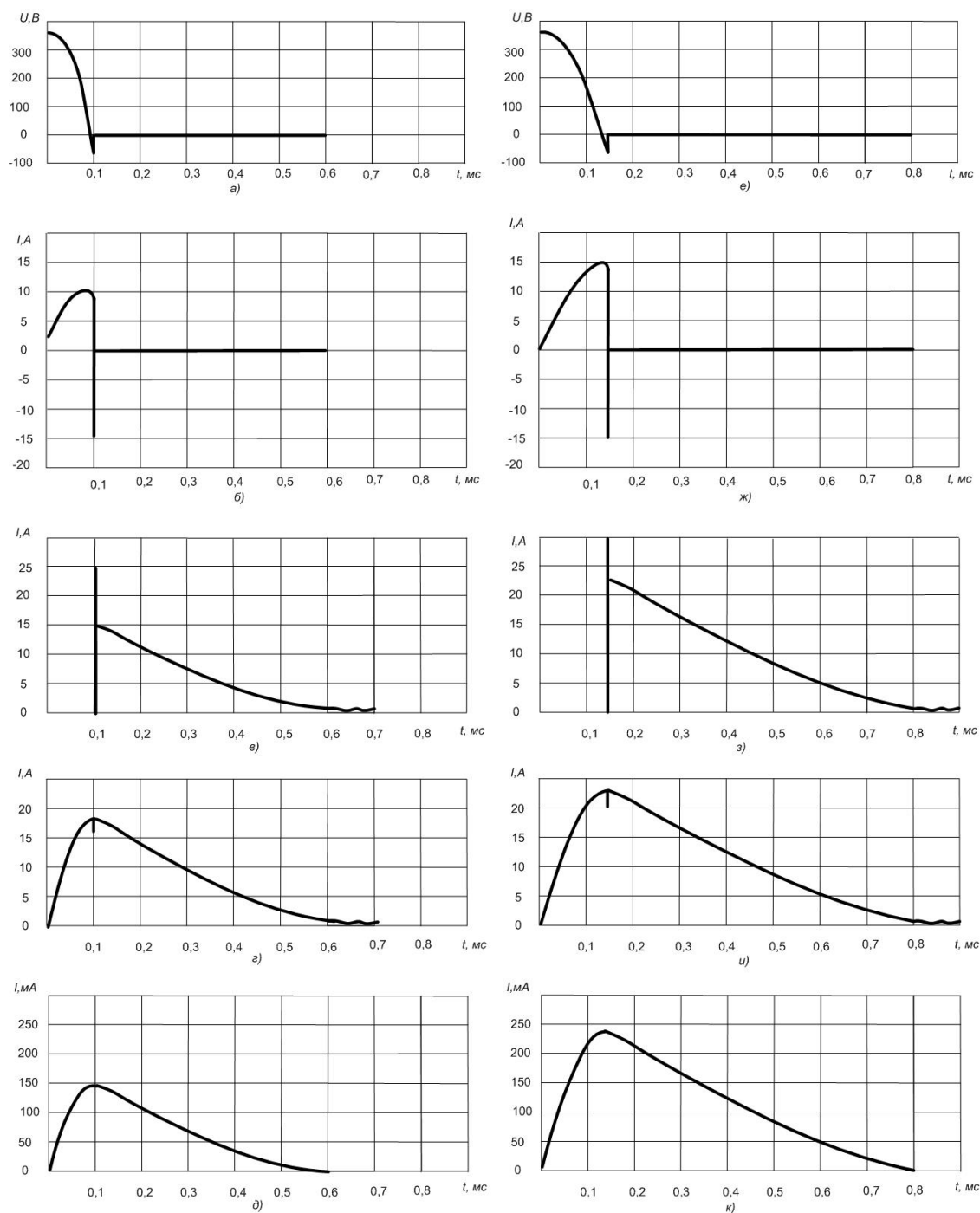


Рис. 5. Временные диаграммы работы системы формирования инициирующего разряда

## 6. Порядок выполнения работы

1. Включить стенд и осциллограф в сеть. Подключить щупы осциллографа к стенду и включить тумблер  $K1$ .
2. Включить тумблер  $K2$  и изменяя напряжение питания (контролируя значение напряжения по вольтметру  $PV1$ ) в диапазоне от 6 до 18 В записать в табл. 1 показания вольтметра  $PV2$  и амперметра  $PA$ . По значениям табл. 1 рассчитать значения мощности и КПД ООСПН в диапазоне изменения напряжения

питания от 6 до 18 В и на основе полученных данных построить графики зависимости мощностей (потребляемой и мощности ООСПН) и КПД ООСПН от напряжения питания ( $U_n$ ). Зарисовать осциллограммы работы ООСПН (на резистивную нагрузку  $R_4$ ) в контрольных точках 1, 2 при указанном преподавателем напряжении питания.

3. Отключить тумблер  $K_2$  и включить тумблер  $K_3$ . Изменяя значение напряжения питания в диапазоне от 6 до 18 В проконтролировать, в контрольной точке 3, время заряда накопительного конденсатора  $C_2$  до рабочего напряжения. Время  $t_1$  заряда накопительного конденсатора до рабочего напряжения в диапазоне изменения напряжения питания от 6 до 18 В занести в табл. 2. Прodelать тоже при замкнутом тумблере  $K_4$  (в мощном режиме работы ТМЗ), с занесением времени  $t_2$  в табл. 2. Зарисовать осциллограммы работы ООСПН (при заряде накопительного конденсатора) в контрольных точках 2, 3 при указанном преподавателем напряжении питания. Учитывать, что напряжение в точке 3 уменьшено в 10 раз.
4. Включить тумблер  $K_3$  и зарисовать осциллограммы работы ТМЗ (в режиме само запуска) в контрольных точках 3–7 при напряжении питания 14 В. Учитывать, что напряжение в контрольной точке 3 уменьшено в 10 раз.
5. Прodelать тоже при включенном тумблере  $K_4$ , т.е. при работе ТМЗ в мощном (пусковом) режиме.

Таблица 1

$U_n$ , В	6	8	10	12	14	16	18
$U_{r2}$ , В							
$I_{\text{потреб}}$ , А							

Время заряда накопительного конденсатора до рабочего напряжения

Таблица 2

$U_n$ , В	6	8	10	12	14	16	18
$t_1$ , мс							
$t_2$ , мс							

## **7. Содержание отчета**

1. Структурная схема ТМЗ.
2. Осциллограммы в контрольных точках 1–7 при указанных в порядке выполнения работы режимах работы структурной схемы ТМЗ.
3. Графики зависимости мощностей и КПД ООСПН от изменения напряжения питания.
4. Выводы по п. 2–5.

## **8. Контрольные вопросы**

1. Преимущества ТМЗ, по сравнению с существующими транзисторными системами зажигания.
2. Устройство и работа ООСПН и системы формирования инициирующего разряда.
3. Чем обусловлена необходимость применения блока ограничения тока коллектора и блока стабилизации базового тока силового транзистора  $VT1$ ?
4. Поясните, за счет чего, и каким образом увеличивается энергия и длительность инициирующего разряда в мощном (пусковом) режиме.
5. В каких пределах и почему изменяется КПД ООСПН, определенного по п. 2?
6. Нарисовать кривую (по времени) заряда накопительного конденсатора до рабочего напряжения в зависимости от изменения напряжения питания в обычном и мощном режимах работы ООСПН.

## **Рекомендуемая литература**

1. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей.– М.: Транспорт, 1995. – 304 с.
2. Власов Ю. Стабилизированный одноктактный преобразователь напряжения// Радио. – 1999.– №3. – С. 37–39.
3. М. Брижинеv. Стабилизация напряжения преобразователя// Радио. – 1984. – №10. – С. 30–31.
4. Семенов Ю. Разработка одноктактных обратных преобразователей напряжения// Радио. – 2001. – №10. – С. 34–36.