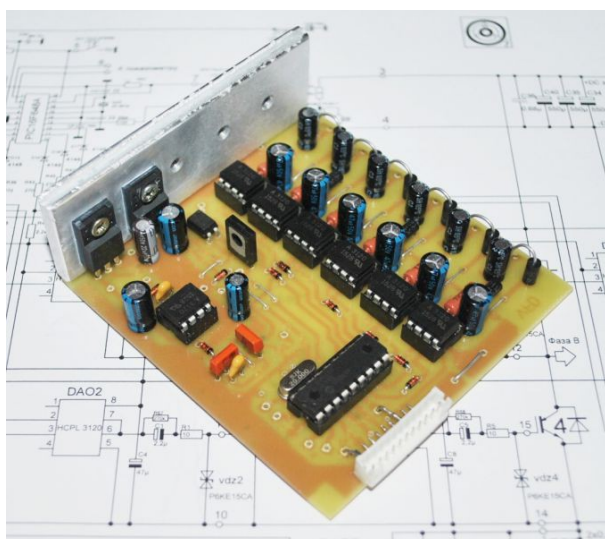




Частотный преобразователь “ВОСЬМИКРУТ”



U/f – скалярное управление АД

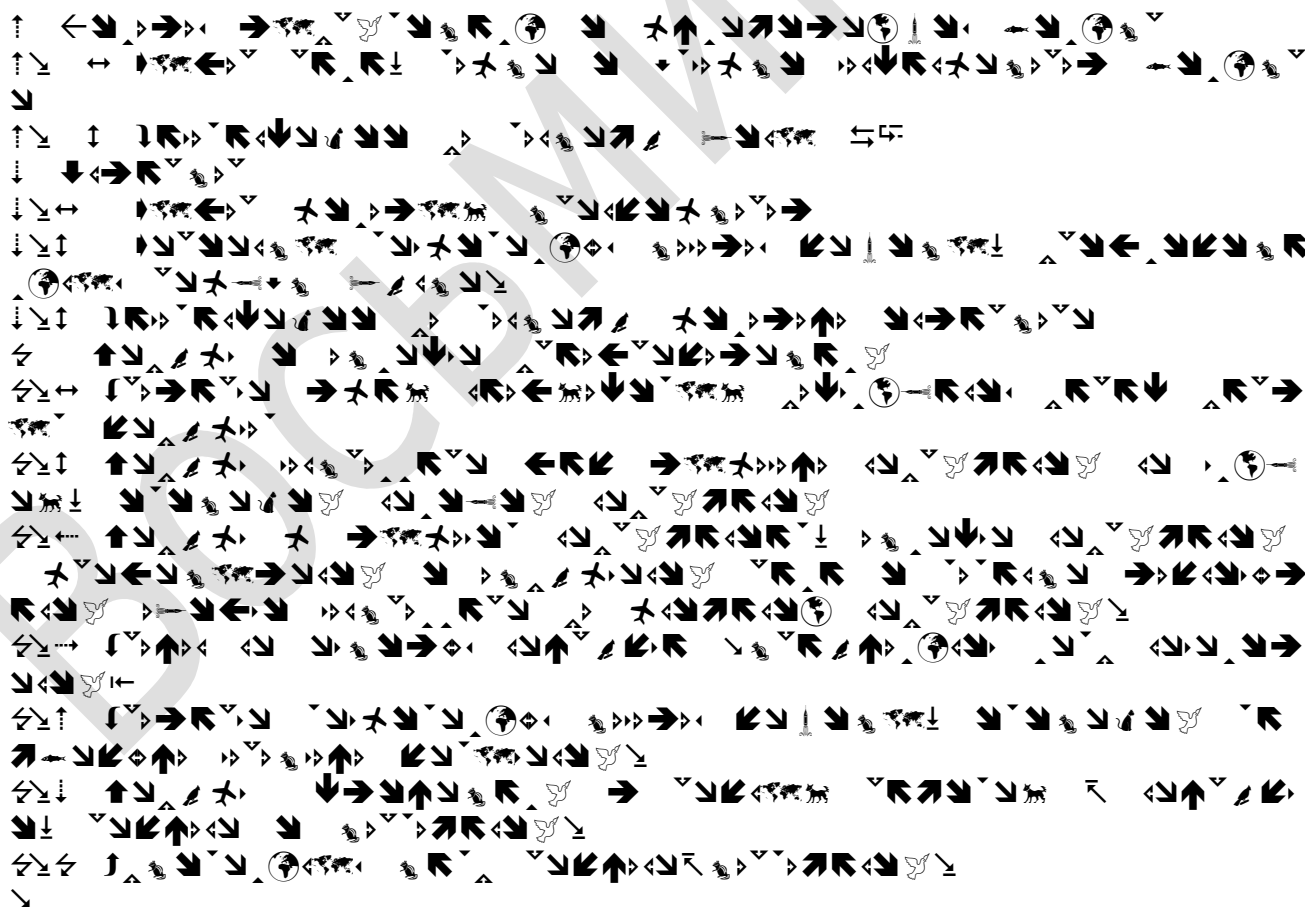
Устройство и наладка ОСНОВНЫХ УЗЛОВ

(не полная версия 1.3)



Содержание

1. Введение	3
1.1 Общая характеристика преобразователя частоты, основные узлы	4
1.2 Принцип управления и защиты в преобразователе	6
2. Принципиальные схемы узлов преобразователя частоты	10
2.1 Схема управления “Vosmikrut”	10
2.2 Силовая схема “Vosmikrut”	14
2.3 Общая схема преобразователя	16
2.4 Схема индикатора (показометра)	17
2.5 Схема задатчика частоты (крутилки)	18
2.6 Схемы внешнего пульта	21
3. Блок питания	23
3.1 Особенности питания и требования к БП	23
3.2 Проверка рекомендованной схемы БП	25
4. Управление преобразователем и проверка узлов	29
4.1 Варианты программ и схем управления частотным преобразователем	29
4.2 Программирование контроллеров	31
4.3 Проверка платы управления	34





1. Введение

Тема самостоятельного конструирования простого частотного преобразователя для работы трёхфазного асинхронного двигателя от однофазной сети волновала и на сегодняшний день продолжает волновать многих, подразумевая возможность её прикладного применения для привода механизмов в домашнем хозяйстве, мастерской и т.д. Конструкция устройства должна быть максимально простой, легкой в использовании, надёжной и универсальной для облегчения её сборки в любительских условиях. Частотный преобразователь, описанию которого посвящён этот документ, разрабатывался с нуля исходя из этих соображений и для получения оптимального режима работы трёхфазного двигателя на циркулярной пиле. После опубликования [статьи](#) и начавшейся эксплуатации первых повторённых конструкций преобразователя, благодаря вопросам, отзывам и предложениям людей на [форуме](#) были произведены доработки устройства и появились новые возможности.

На сегодняшний день можно заявить о высокой надёжности имеющихся схем и алгоритмов управления. Происходит и дальнейшая модернизация, появляются новые варианты программ, конструкций, осваиваются высокочастотные и однофазные двигатели. Тема является уникальным полем для творчества каждого.

Для успешной сборки и запуска данного устройства нужны некоторые детали, технические знания и навыки, но самое важное - интерес и желание, тогда всё недостающее будет постепенно приобретаться в процессе. Всегда будьте готовы к получению новых интересных знаний. Целью данного документа является информационная помощь по устройству, принципу действия и наладке самодельного частотного преобразователя “Восьмикрут”.

Описание вариантов схем и программ поможет выбрать нужное решение для конкретного случая. Будут рассмотрены принципиальные схемы и рекомендованные печатные платы. Естественно, эти платы не являются догмой и в зависимости от общей конструкции и опыта изготовителя могут быть изменены и доработаны с желательным сохранением основной разводки. Полностью иные спроектированные варианты плат, изменения текущих схем и программного кода без наличия достаточного опыта могут содержать критические ошибки и должны быть рассмотрены отдельно.



1.1 Общая характеристика преобразователя, основные узлы.

Данный преобразователь частоты выполнен по схеме двойного преобразования. Сетевое напряжение выпрямляется неуправляемым выпрямителем, фильтруется, а затем преобразуется транзисторным инвертором с помощью ШИМ в регулируемое трёхфазное напряжение. Выходная мощность преобразователя определяется параметрами тока выпрямителя и инвертора, а также параметрами питающей сети. Главными достоинствами являются лёгкий запуск, регулирование скорости и высокий коэффициент использования мощности двигателя при питании от одной фазы. Программная часть выполнена универсальной (см. описание к конкретной программе). Возможно подключение к преобразователю любых двигателей мощностью до 4кВт, а также двигателей большей мощности, например 5,5кВт, но при условии соответствия по току силовой части. Для получения номинального момента на валу при однофазном питании 220В следует подключать обмотки двигателя к частотному инвертору по схеме “треугольник”.

Основные характеристики:

- скалярный способ управления двигателем
 - простая разомкнутая система регулирования
 - линейная зависимость U/f с поднятием U на низких частотах
 - полное использование питающего напряжения на номинальной частоте двигателя (при входном напряжении 220В 50Гц трёхфазный выход 220В 50Гц)
 - минимальная выходная частота 1Гц (8Гц)*
 - максимальная выходная частота 75Гц (400Гц)*
 - шаг изменения частоты 0,5Гц (2,66Гц)*
 - легкий реверс двигателя
 - регулирование выходной частоты кнопками
 - разгон на установленную разгонную частоту одним нажатием кнопки
 - установка разгонной частоты с сохранением параметра
 - установка темпа разгона-торможения с сохранением параметра
 - регулирование выходной частоты аналоговым задатчиком
 - возможность работы с автозапуском (подходит для управления приводом компрессора в функции давления)
 - возможность управления с внешнего пульта
 - универсальность платы управления по раскашке различных вариантов силовых транзисторов и модулей (двухполярное напряжение раскашки затворов, пиковый ток управления 2,5А, dead time= 2мкс)
 - защита от пониженного напряжения (просадки) сети и превышения DC напряжения при торможении
 - защита от перегрузки и короткого замыкания
- * - значения указаны при использовании контроллера PIC16F648A
* - значения в скобках указаны для программы на 400Гц



Ниже представлена структурная схема:

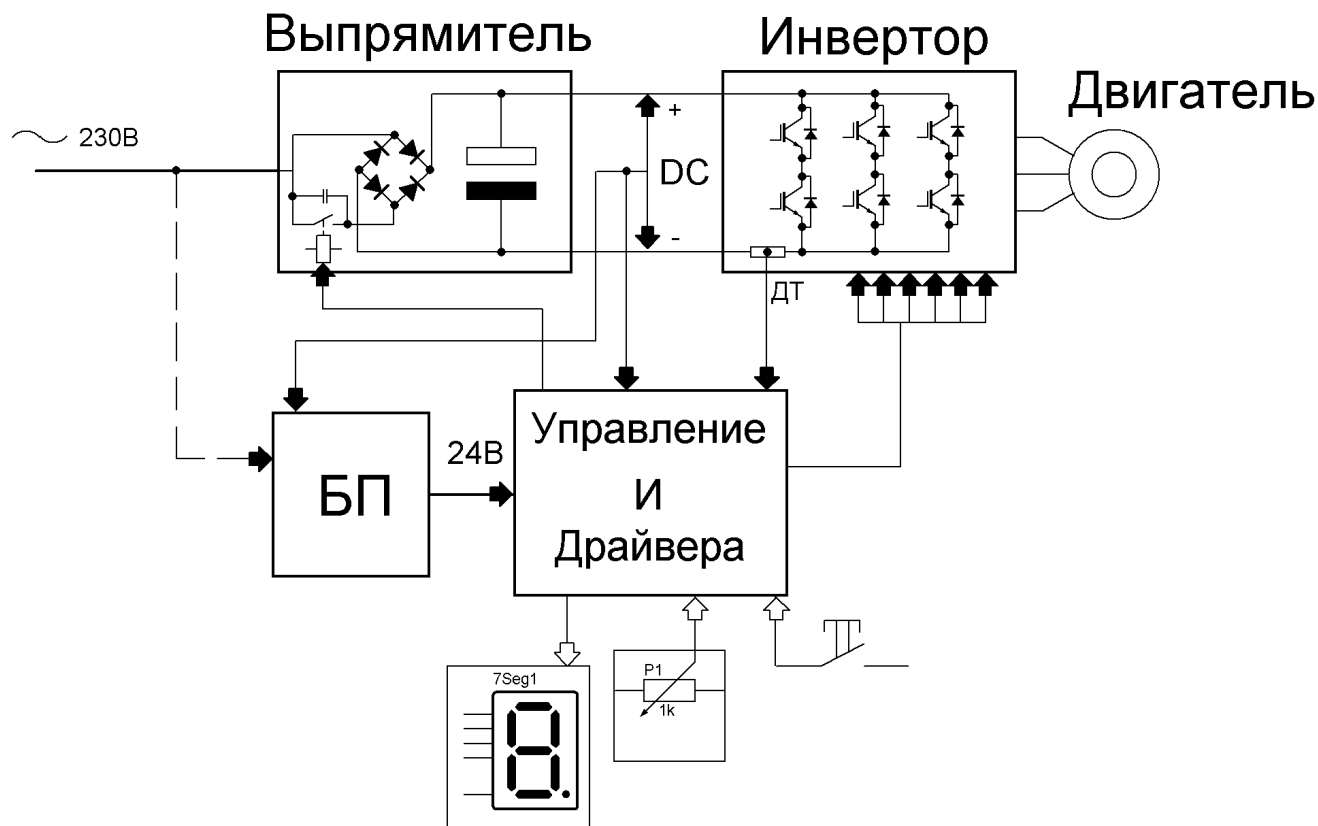


Рис 1. Структурная схема преобразователя “Восьмикрут”

Можно выделить основные узлы преобразователя:

- **блок питания**
- **плата управления**
- **силовой выпрямитель с фильтром**
- **трёхфазный инвертор**
- **индикатор частоты и ошибок (показометр)**
- **частотный задатчик (крутилка)**
- **кнопки управления или выносной пульт**

Использование данной структуры, а также связки управляющего контроллера и дискретных высоковольтных оптодрайверов позволило сделать плату управления “VOSMIKRUT” универсальной. Это существенно расширило возможности её применения для раскочки различных по комплектации силовых трёхфазных инверторов, в том числе на мощных IGBT модулях и транзисторах. Также возможно её применение при трёхфазном питании при напряжении DC звена 535В.



1.2 Принцип управления и защиты в преобразователе.

В качестве моторного контроллера управления трёхфазным инвертором применяется 8 разрядный микроконтроллер серии PIC16F648A. Возможно также применение микроконтроллера PIC16F628(A), но с ограниченным функционалом и большим шагом изменения частоты (1,25Гц).

Применению этого типа контроллеров способствовали такие факторы как универсальность, достаточная простота и популярность у радиолюбителей, разумная цена, лёгкость программирования и т.д.

На языке ассемблера была разработана программа формирования шести ШИМ сигналов на основе пространственно-векторной модуляции (SVPWM), а также опрос сигналов управления и контроля с передачей фактов состояния на индикатор или светодиоды. Принцип работы программы ШИМ кратко описан в сопутствующем документе “Модуляция Восьмикрут”. Применение векторной модуляции позволяет получить динамический сдвиг фаз векторов и полностью использовать напряжение питания. На выходе преобразователя от 49Гц (381Гц) формируется максимально возможное напряжение с минимальными потерями коммутации в транзисторах. Это даёт возможность получать номинальную механическую мощность на номинальной скорости двигателя.

Скалярное частотное регулирование двигателя осуществляется посредством изменения частоты и напряжения подводимого к двигателю. Как известно, в общем случае для сохранения момента на низких оборотах необходимо уменьшать напряжение U меньше чем частоту f . Для обеспечения универсальности при отсутствии параметрирования и возможности подключения мощных двигателей было принято решение использовать зависимость U/f с небольшим подъёмом. Обеспечивается режим с номинальным намагничиванием двигателя на 4кВт на около-нулевом скольжении (холостом ходе) рассчитанный на средний по загрузке пуск. При сильной загрузке на низких частотах магнитное поле уменьшается в зависимости от активного сопротивления статора, частоты и просадки DC звена. Ток при этом будет возрастать. Работа на низких частотах с полным моментом требуется редко и такое решение оправдано в большинстве случаев практического применения. В настоящее время ведётся работа по формированию прикладных U/f характеристик для конкретных мощностей моторов, чтобы получать номинальный и более вращающий момент на низких оборотах. На данный момент имеются программы на двигатели $\leq 550\text{Вт}$, $\leq 1500\text{Вт}$, $\leq 4000\text{Вт}$.

Для надёжной работы в устройстве обеспечены защиты от аварийных режимов. От режима межфазного короткого замыкания была успешно применена быстродействующая токовая защита, реализованная аппаратно с прямым воздействием на драйверы. При превышении тока происходит выключение транзисторов за время менее 10мкс с последующей возможностью работы только после ручного сброса. Малое время срабатывания защиты обеспечивает и отключение тока сквозного короткого замыкания в инверторе, что является важным



фактором повышения живучести силовых ключей и драйверов при авариях в силовой части. Замыкание на землю остаётся более опасным для преобразователя, ввиду упрощения схемы (половинный контроль), но оно является и более мягким. Также была выполнена программно-аппаратная защита по снижению величины питающего напряжения DC звена. При достижении нижнего порога контроллер теряет контрольный логический уровень и выключает транзисторы с индикацией ошибки. Аппаратно при этом отпадает шунтирующее реле в цепи заряда фильтра выпрямителя, разрывая силовую цепь преобразователя и сети. Как показала практика, этого оказалось достаточным для безаварийного использования преобразователя в любительских условиях.

В последующем была добавлена в схему и аппаратная защита от превышения напряжения DC звена, которое может возникнуть вследствие тормозного режима, особенно при ослабленном поле двигателя, когда малы потери в системе.



FAQ Вопрос-ОТВЕТ

Информация взята с форума <http://www.radiokot.ru/forum/viewtopic.php?t=106385>

1. Как я понял, силовые конденсаторы, реле и их обвязка собраны на отдельной плате?

Интересует поведение преобразователя при:

- а) включили с КЗ на выводах
- б) КЗ возникло во время работы
- в) включили с не подключенным двигателем
- г) отключился двигатель целиком от преобразователя во время работы или одна из фаз
- д) подключение двигателя к уже включенному преобразователю

Как бы вот такие внештатные ситуации. Останется преобразователь жив?

Да, силовые кондёры, реле, обвязка - стоят отдельно. Для данной схемы опасно скорее только к.з. на землю т. к. контролируется только одна ветвь DC. Защита срабатывает, но медленнее. Был один случай на практике, всё отключилось штатно.

При включении на к.з. срабатывает защита. Всё живёт.

При включении без двигателя возможно срабатывание защиты, из-за отсутствия цепи, подтягивающей верхние драйвера через резистор R73 на двух других фазах. А так на выводах фаз появится напряжение и ничего более не произойдёт (для такого режима нужно ставить подтяжку R73 в каждую фазу).

При возникновении межфазного к.з во время работы снова работает защита, всё живёт дальше.

При включении сначала привода, а потом подключении двигателя уже на 50Гц, скорее всего также срабатывает защита. Тут уже зависит от мощности. Если уставка на 1.5кВт то 180Вт раскрутится, а 1.5кВт выключится.

При пуске без одной фазы движка пилы на 1,5кВт настраивал шунт на выключение при подходе частоты к 40Гц. Двигатель 180Вт соответственно будет стоять и греться.

2. Может посмотрел, но как должен включаться двигатель-звездой или треугольником? Как лучше, меньше нагрузка на сеть и преобразователь, большая мощность двигателя?

Однозначно треугольником, так полная мощность на валу и всем хорошо. При звезде останется только третья часть мощности и теряется весь смысл устройства.

3. Отличная разработка!

Единственное замечание: на таких мощностях просто необходим корректор коэффициента мощности. Также, насколько я могу судить, применение ККМ позволит получить на выходе не 3х220, а полноценные 3х380, что в свою очередь, позволит подключать трёхфазный без переключения их в треугольник.

Данное устройство разрабатывалось как простое, без лишних наворотов, для домашних нужд. Да, я согласен, на 4кВт ток из сети будем потреблять импульсами большой величины, но тут на самом деле как бы и предел использования его в однофазной сети.

Главное, что порой необходимо – это осуществить запуск имеющегося мощного двигателя от однофазной сети, с чем легко справляемся. И далеко не всегда потребуется его полная нагрузка.

При ёмкости DC 2000мкФ возможно получить коэффициент мощности 0,65, а при меньшей ёмкости ещё выше. Основная проблема при однофазном питании - просадка DC звена, от которой падает момент.

В дальнейшем планируется добавка корректора к данному частотнику отдельным модулем.



4. У меня есть двигатель 5.5кВт, может можно его как то умощнить?

Запустить двигатель сможете, а нагрузить в зависимости от имеющейся сети. Ориентировочно можно загрузить на 3кВт. Снять более 4кВт не получится, по крайней мере без корректора коэффициента мощности. Просядет DC звено и (или) двигатель будет опрокидываться со сверхтоком.

5. Хочу сделать частотный преобразователь на основе STM32

Про ШИМ управление и т.д. все достаточно просто и понятно. Не могу понять один момент, при скалярном методе управления используется постоянство отношения напряжение\частота.

Синус считаем по формуле $i = (I_{max} * \sin(Wt))$ Сдвиг фаз опустим.

Вопрос с I_{max} . Так как мы работаем с цифрой, то $I_{max} = 1$.

Все отлично и замечательно, синусоиду я получил.

Если следовать тому, что $U/f = \text{const}$. Для какой частоты $I_{max} = 1$? Если для 50 Герц, то для 40

$I_{max} = 0.8$ ($U1/f1 = U2/f2$) и т.д.

Для частоты в 10 Гц $I_{max} = 0.2$ не будет ли сильной потери момента на валу?

Собственно вопрос, как Вы реализовали этот момент?

Да, для 50 Гц при номинале двигателя 50Гц.

Потеря момента будет, и зависит она от мощности двигателя. Для его постоянства необходимо поднятие напряжения (буст) на низких частотах, а на сколько - зависит в основном от активного сопротивления статора. Маломощным нужен больший буст, мощным меньший соответственно. Я использовал опытным путём подобранное соотношение и оно жестко зашито в таблицах, у меня контроллер ничего не вычисляет.

6. При нажатии кнопки "Сброс" частота снижается плавно до 0

Нет, это при нажатии стоп вниз она плавно снижается. При нажатии сброса сразу выключаются транзисторы и снимается напряжение с двигателя, как будто контактор выключили. Дальше самовыбег.



2. Принципиальные схемы узлов преобразователя частоты

Полная принципиальная схема преобразователя частоты “Восьмикрут” объединяет как минимум три узла – **плату управления, силовой выпрямитель с фильтром** и **трёхфазный инвертор**. Для облегчения восприятия разделим её на 2 основные части – **управления** и **силовую**. Также рассмотрим общую схему, схему индикатора, схему задатчика частоты и схемы внешнего пульта. Особенности питания и рекомендованная схема блока питания будет рассмотрена отдельно в п 3.

2.1 Схема управления

Рассмотрим схему **платы управления** преобразователя:

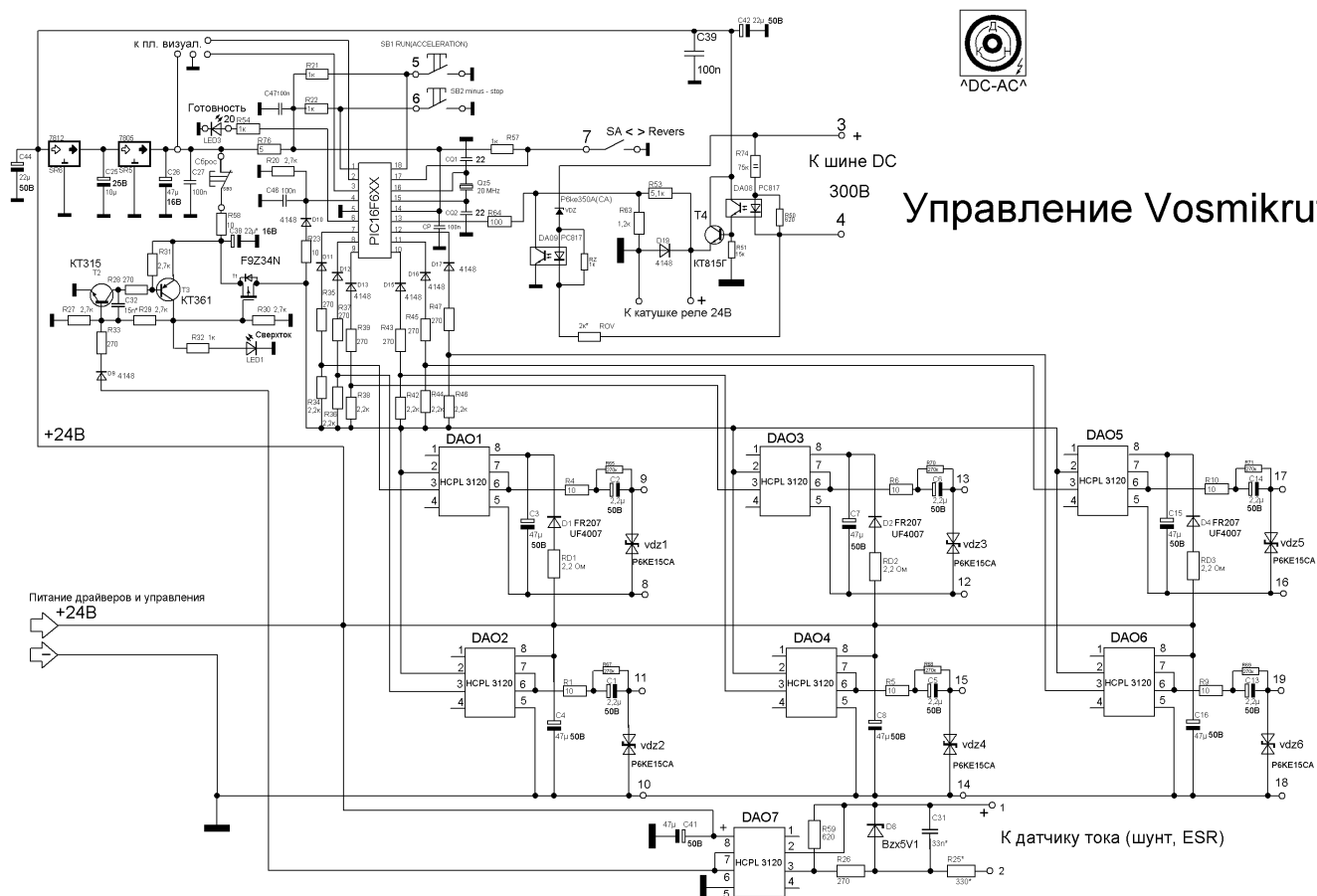


Рис 2. Принципиальная схема управления преобразователя “Восьмикрут”

Легко увидеть, что основу схемы составляет связка интегральных оптодрайверов DAO1-6 (HCPL3120-HCNW3120) и моторного контроллера управления (PIC16). Для схемы достаточно всего одного гальванически изолированного от сети источника питания 24В.



Три нижних оптодрайвера эмиттерной группы ключей DAO2, DAO4, DAO6 получают питание непосредственно, а три верхних оптодрайвера коллекторной группы ключей DAO1, DAO3, DAO5 запитываются по бутстрепной схеме. Плюс источника питания подан всегда через высоковольтные быстрые диоды D1, D2, D4, а к минусу питания они подключаются периодически, через транзисторы эмиттерной группы силовой части. Естественно такое решение имеет определённые особенности, которые были учтены при разработке и исследованы на практике.

Для повышения надёжности в использовании были созданы соответствующие условия, одними из которых являются высокое напряжение питания драйвера и цепь смещения уровня. Применение проходных конденсаторов и супрессоров (стабилитронов) в выходной цепи драйверов позволило получить двухполярное напряжение раскочки на затворах всех силовых транзисторов (см. рис. 12). Элементы обвязки по выходу драйверов подобраны таким образом, что обеспечивается нужная функциональность во всех используемых режимах модуляции. Например, при векторном режиме необходимо отрабатывать время постоянно включенного и постоянно выключенного состояний транзисторов по 6,5мс.

Рабочие уровни напряжения на элементах драйверов и затворах транзисторов устанавливаются при постоянной подаче импульсов. Для этого была реализована соответствующая подпрограмма начального запуска драйверов в работу. (В схеме силовой части также установлен подтягивающий резистор R73, обеспечивающий начальную подачу минуса питания на драйверы HCPL коллекторной группы, начальное напряжение на них устанавливается около 4-4,5В).

При дальнейшей эксплуатации были добавлены резисторы RD1, RD2, RD3, последовательно с диодами D1, D2, D4, для ограничения мгновенного тока заряда и соответственно скорости нарастания напряжения на бутстрепных электролитических конденсаторах драйверов коллекторной группы ключей **(исключение короткого импульса сквозного тока при включении, появлявшегося при низких температурах эксплуатации изделия)**.

Подключение управляющих светодиодов оптодрайверов к моторному контроллеру осуществлено через задающие ток резисторы по 270Ом и развязывающие диоды 4148. Резисторы по 2,2кОм, которые стоят параллельно светодиодам, осуществляют небольшую токовую подгрузку, для снижения амплитуды возможного наведённого напряжения. Анодами светодиоды оптодрайверов соединены в общую шину и получают по ней плюс питания через транзистор T1 от схемы защиты. Активным уровнем на порту (ножках) контроллера для включения драйвера и силового транзистора соответственно является логический ноль. Время задержки (dead time) между переключениями транзисторов стойки выполнено на программном уровне и равно 2мкс. Вывод 4 сброса контроллера также подключается к общей шине драйверов через R23 и D10. Быстродействующее отключение выполняется снятием плюса питания с общей анодной шины светодиодов драйверов при закрытии транзистора T1. Диоды 4148 в этот момент предотвращают вероятность прохода с выводов контроллера высокого



логического уровня до состояния его сброса. Таким образом, при срабатывании схемы защиты драйверы выключаются моментально, независимо от состояния контроллера, а на самом контроллере пропадает высокий логический уровень на 4 ножке, переводя его в состояние сброса.

Схема быстродействующей токовой защиты включает в себя тот-же быстрый оптодрайвер HCPL DAO7, триггер на биполярных транзисторах Т2 и Т3, и уже известный полевой ключ Т1. Цепь R25 и C31 образуют первичный НЧ фильтр сигнала с датчика тока (датчики рассмотрены в схеме силовой части) для подавления выбросов от коммутационных процессов инвертора. Стабилитрон D8 защищает цепь светодиода драйвера от короткого импульса высокого напряжения, который возможен при аварийной ситуации. C32 уменьшает чувствительность триггера к помехам. R58 и C38 выполняют роль фильтра питания цепи защиты и уменьшают скорость нарастания напряжения на триггере. При превышении сигналом с датчика порога включения драйвера, его мощный импульс вызывает моментальное срабатывание и защёлкивание триггера. Затвор ключа Т1 оказывается замкнут с истоком и он закрывается, отключая шину питания светодиодов оптодрайверов. Срабатывание триггера защиты сигнализируется светодиодом LED1 **“Сверхток”**. Сброс триггера возможен только при снятии питания кнопкой **“Сброс”**, и соответственно, пока цепь этой кнопки разорвана, светодиоды оптодрайверов гарантированно выключены, и контроллер находится в состоянии сброса. Защита сработает сразу после отпускания кнопки, если по каким-либо причинам уже имеет место аварийная ситуация.

Питание 5В моторного контроллера и схемы защиты осуществляется от каскада стабилизаторов “кренок” 7812 и 7805. Возможно также использование импульсного стабилизатора напряжения на 24/5В. При использовании платы индикатора (показометра) и задатчика (крутилки) они также запитываются от этих 5В. Элементы R76, CP, C46, C47 являются обязательными фильтрами, защищающими микроконтроллер от помех. Готовность к работе сигнализируется постоянным свечением светодиода L3 **“Готовность”** (используется не во всех версиях программ).

Оптрон DAO8 PC817 и транзистор Т4 в качестве эмиттерного повторителя образуют простейшую схему контроля величины постоянного напряжения на конденсаторах фильтра выпрямителя. Она управляет включением реле в цепи шунтирования плавного заряда фильтра и через делитель напряжения на резисторах R53 и R63 формирует напряжение логического уровня для мониторинга контроллером состояния шины DC. Высокая точность работы изначально не требуется. Оптрон PC817 имеет оптимальную крутизну характеристики, большинство стандартных реле с катушками постоянного тока имеют почти половинный коэффициент возврата (отношение напряжения отпускания к напряжению срабатывания), а также напряжение высокого логического уровня начинается уже со значений напряжения 3В и даже ниже. Всё это позволило совместить в одной простой схеме функции мониторинга и управления реле. При заряде шины DC



сначала появляется логический уровень, а затем втягивается реле. При снижении напряжения на фильтре DC ниже порога потеря логического уровня контролером и отпадение реле происходит практически одновременно. При этом программно выключаются все драйвера с индикацией ошибки по напряжению DC (мерцает светодиод L3 **“Готовность”**) и всё остаётся в таком состоянии бесконечно долго, независимо от последующего изменения напряжения. Для дальнейшей работы необходимо произвести сброс контроллера кнопкой. **(В версиях программ с автозапуском производится автоматический сброс ошибки по напряжению и осуществляется повторный запуск привода)**. Назначение резистора R64 – увеличение сопротивления линии связи для уменьшения наводок. Устанавливается ближе к контроллеру при размещении элементов схемы контроля DC и самого моторного контроллера в противоположных частях платы и их связи между собой длинной дорожкой. При установке делителя R53 и R63 рядом с моторным контроллером резистор R64 не требуется.

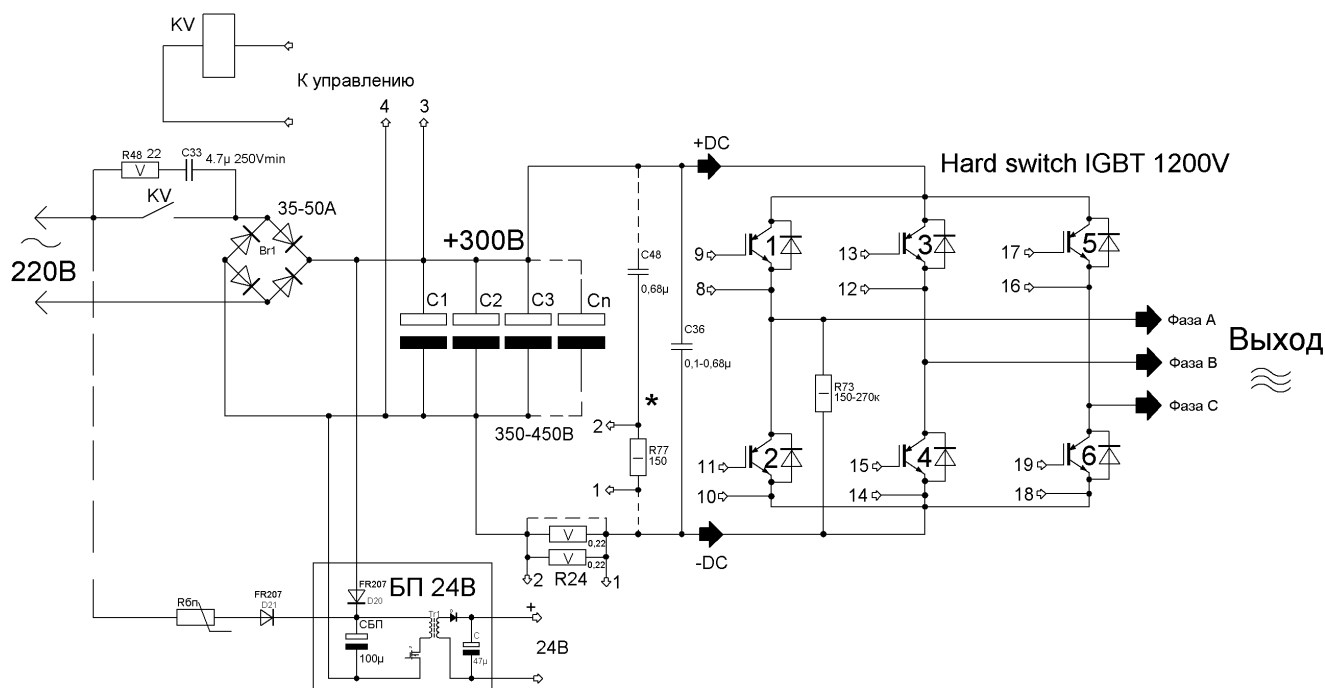
При дальнейшей эксплуатации **была добавлена защита и от превышения напряжения на шине DC при возможном генераторном режиме двигателя**. Состоит из оптрона DA09, резисторов RZ, ROV и порогового элемента VDZ – стабилитрона (супрессора) 1,5кВ350А(СА). При превышении напряжения на DC выше пробоя стабилитрона, начинает течь ток через светодиод оптопары DA09, ограниченный резистором ROV. При этом транзистор оптрона сажает логический уровень идущий на контроллер, что вызывает программную обработку как и при пониженном напряжении - выключаются все драйвера с индикацией ошибки по напряжению DC (мерцает светодиод L3 **“Готовность”**) и всё остаётся в таком состоянии бесконечно долго, независимо от последующего изменения напряжения. Выключение всех транзисторов прекращает генераторный режим двигателя и соответственно дальнейшее повышение напряжения на DC.



2.2 Силовая схема

Рассмотрим силовую часть преобразователя, объединяющую в себе **силовой выпрямитель с фильтром и трёхфазный инвертор**:

Сила VOSMIKRUT



* Цепь C48-R77 используется для максимальной токовой защиты без шунта

Рис 3. Принципиальная схема силовой части преобразователя “Восьмикрут”

На входе схемы силовой выпрямитель Br1 и цепочка R48 C33, которая служит для ограничения начального тока заряда емкостей фильтра C1-C3-Cn. Основной ток и время заряда задаёт гасящий конденсатор C33. Его применение обусловлено отсутствием опасного нагрева, при вероятно-возможном кратковременном включении привода в работу при сильно-пониженном напряжении сети, когда логический уровень узла контроля DC, разрешающий работу, может присутствовать при разомкнутом шунтирующем контакте реле KV.

Набор параллельных электролитических конденсаторов образует фильтр и жёсткое звено постоянного тока (DC). К нему подключаются три стойки IGBT транзисторов с обратными диодами (или IGBT модуль), которые образуют силовой трёхфазный инвертор, обеспечивающий двунаправленный обмен энергией между нагрузкой и шиной DC.

Для защиты инвертора и двигателя от аварийного превышения тока в схеме применяется активный датчик тока – резисторы R24 (шунт). Индуктивность шунта



должна быть по возможности минимальной. Для её частичной компенсации (например, при скрученном из проволоки шунте), возможно подключение конденсатора емкостью 0,1мкф параллельно шунту R24. Электролитические конденсаторы C1-C3-Сп также обладают внутренним эквивалентным последовательным сопротивлением (ЭПС или англ. ESR) и имеется возможность косвенно использовать его в качестве датчика тока, исключив шунт R24. Цепь C48-R77 служит для получения сигнала падения напряжения на ESR. Подробнее данный процесс будет рассмотрен в разделе наладки максимальной токовой защиты в п. 4.

Конденсатор C36 плёночный, служит для частичной компенсации паразитных индуктивностей электролитов, соединительных проводов, силовых дорожек, а также подавляет возможные резонансы и снижает излучение помех от шин DC.

Резистор R73 необходим для начальной подачи минуса питания на драйверы HСPL коллекторной группы силовых транзисторов. Его достаточно установить в одной из трёх стоек, а подтягивание остальных произойдёт через цепь нагрузки (обмотки двигателя). При необходимости включения инвертора без нагрузки необходимо устанавливать подтягивающие резисторы R73 в каждую фазу, иначе возможна вероятность кратковременного сквозного тока и срабатывание защиты.

На схеме также представлена рекомендуемая схема подключения блока питания частотного преобразователя от электролитов DC звена. Особенности питания и рекомендованная схема самого БП будут рассмотрены далее в п. 3. Обычно в цепи Rбп и D21 нет необходимости. Блок питания просто подключается к силовым электролитам через уже имеющийся в нём входной диодный мост, либо минуя собственный диодный мост (он может быть удалён вообще), но через обязательный диод развязки D20.



2.3 Общая схема

Теперь рассмотрим для примера общую схему, объединяющей в себе управление и силовую часть:

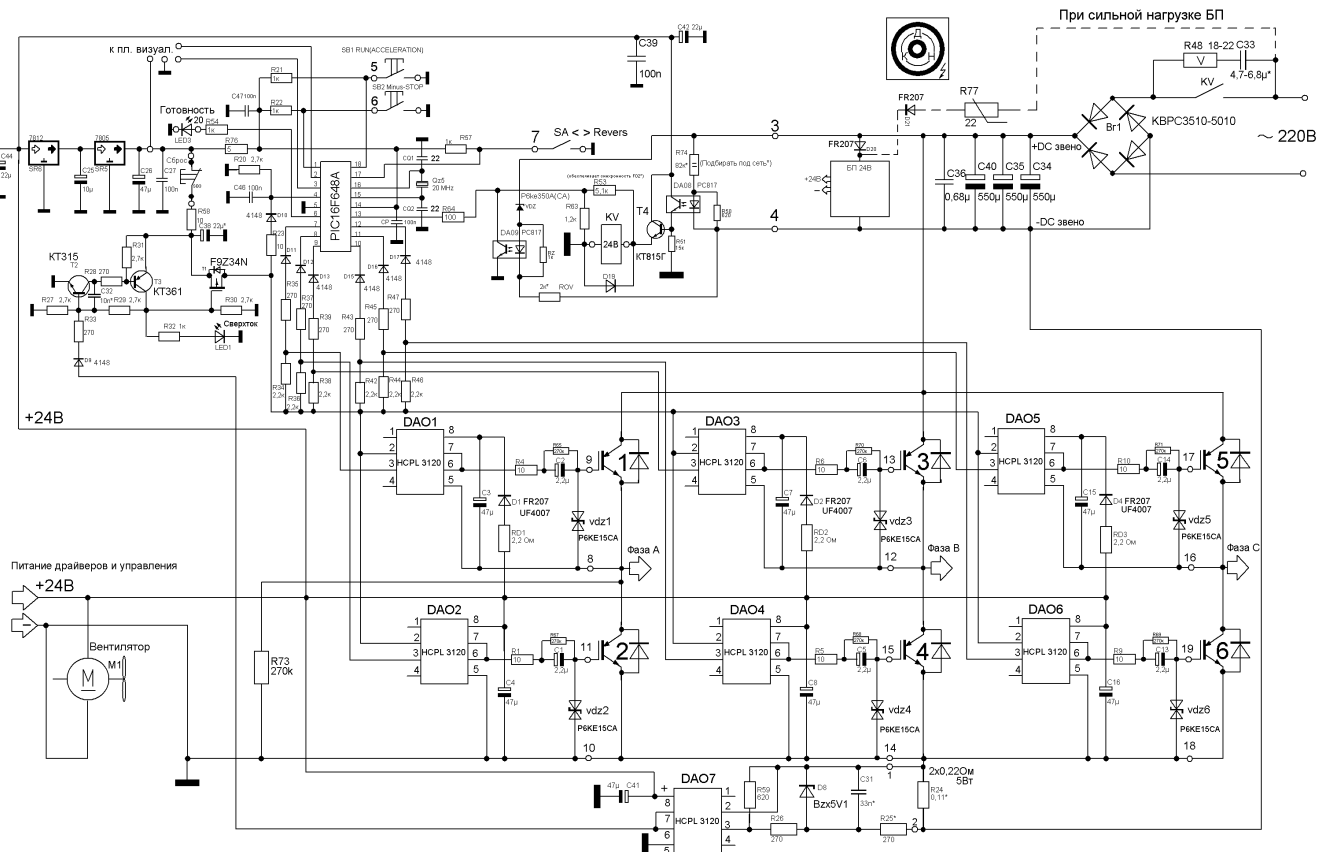


Рис 4. Принципиальная схема преобразователя “Восьмикрут” общая

На данном варианте схемы выходы контроллера 2 и 3 используются для подключения моторного контроллера к индикатору (показометру). В архиве программ для каждого варианта программного обеспечения контроллера представлены соответствующие схемы именно такого вида. Имеющиеся варианты программ и схем управления преобразователем будут подробно рассмотрены в п.4.

В самом простом варианте к выводам контроллера подключаются светодиоды, отображающие выходную частоту 50 и 75Гц (400Гц). При применении моторного контроллера PIC16F628(A), в зависимости от программы может использоваться кварцевый резонатор Qz5 на частоту 8Мгц и конденсаторы обвязки CQ1-CQ2 на 33пФ. В программах с частотным задатчиком светодиод готовности не устанавливается и вывод 6 контроллера используется для кнопки установки параметра темпа разгона-торможения.



2.4 Схема индикатора (показометра)

Для отображения частоты, состояния готовности и ошибок преобразователя может быть использован индикатор на трёхзнаковом семисегментном индикаторе. Поддерживается использование индикаторов как с общим анодом (ОА), так и с общим катодом (ОК). Подробно разбор программ и вариантов индикаторов произведён в п.4.

Рассмотрим для примера схему под индикатор с ОА:

Визуализация частотника

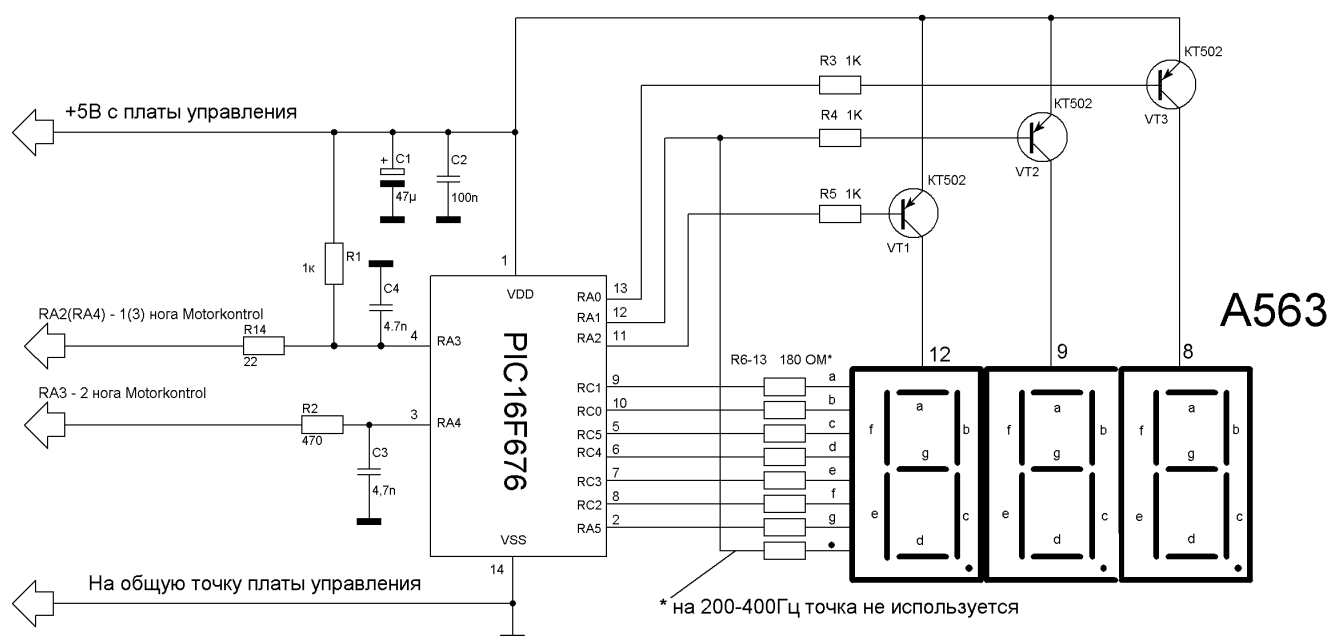


Схема от 21. 09. 2017г.

Рис 5. Принципиальная схема индикатора “Восьмикрут” с ОА.

Схема реализована на микроконтроллере, который обрабатывает биты фактов состояния от моторного контроллера и выполняет динамическую индикацию сегментов (какой-либо интерфейс передачи данных не применяется). Частота индикации сегментов около 3кГц, мерцания незаметны. Индикатор служит только для визуализации состояний и никакого влияния на работу моторного контроллера не оказывает.

В качестве микроконтроллеров в индикаторе могут быть применены PIC16F630 или PIC16F676. Программы универсальны. У PIC16F676 имеется модуль АЦП,



который просто не используется в данном узле. Тактируется контроллер от внутреннего RC генератора. Его частота 4МГц задаётся заводским калибровочным параметром осциллятора, уже записанным в памяти контроллера (последняя ячейка). Подробно о программировании в п. 4.

По состоянию сигналов на 3 и 4 ножках оценивается текущее состояние привода. В режиме работы отображается значение выходной частоты. Также может отображаться следующее:

F0.1(F01) - сброс моторного контроллера; свертток, если горит LED1 “Свертток”.

F0.2(F02) – пониженное или повышенное напряжения DC звена (мигает светодиод L3 “Готовность”); нештатный сигнал частотного задания (возможен для программ с задатчиком частоты)

0.0(00) - готов к включению (горит светодиод L3 “Готовность”)

Цепи R2-C3, R14-C4 являются фильтрами помех, не вносящих сильное скругление фронтов импульсов.

Резистор R1 необходим для постоянного подтягивания 4 ножки к высокому логическому уровню сигнала. Транзисторы VT1 – VT3 исполняют роль ключей для коммутации общего анода (или катода в схемах с ОК) каждого знака. Резисторы R6-R13 задают ток светодиодов сегментов и соответственно яркость их свечения. Уменьшение их ниже 150Ом не рекомендуется - возможна перегрузка микроконтроллера по току.

2.5 Схема задатчика частоты (крутилки)

Для удобства регулировки частоты при использовании преобразователя на различных станках может быть применён аналоговый задатчик частоты.

В связи с отсутствием у моторного контроллера модуля АЦП для задания используется обычный двоичный вход и частотный сигнал. Моторный контроллер в этом режиме осуществляет выборку поданной на него (на 3 ножку) частоты сигнала задания и в соответствии с ней формирует выходную частоту на двигатель. Для повышения стабильности в программе применён “гистерезис” при выборке частоты. Выходную частоту преобразователя при использовании частотного задания можно приблизительно рассчитать так:

$$f_{\text{вых}} = f_{\text{зад}}/30,53 \text{ - для } 50\text{-}75\text{Гц, кратность } 0,5\text{Гц}$$

$$f_{\text{вых}} = f_{\text{зад}}/5,68 \text{ - для } 400\text{Гц, кратность } 2,66\text{Гц}$$

где: $f_{\text{вых}}$ – выходная частота преобразователя, Гц

$f_{\text{зад}}$ – частота задания, Гц

При нулевом значении частоты сигнала задания (отсутствие импульсов) – частота на выходе преобразователя - 1Гц (8Гц).

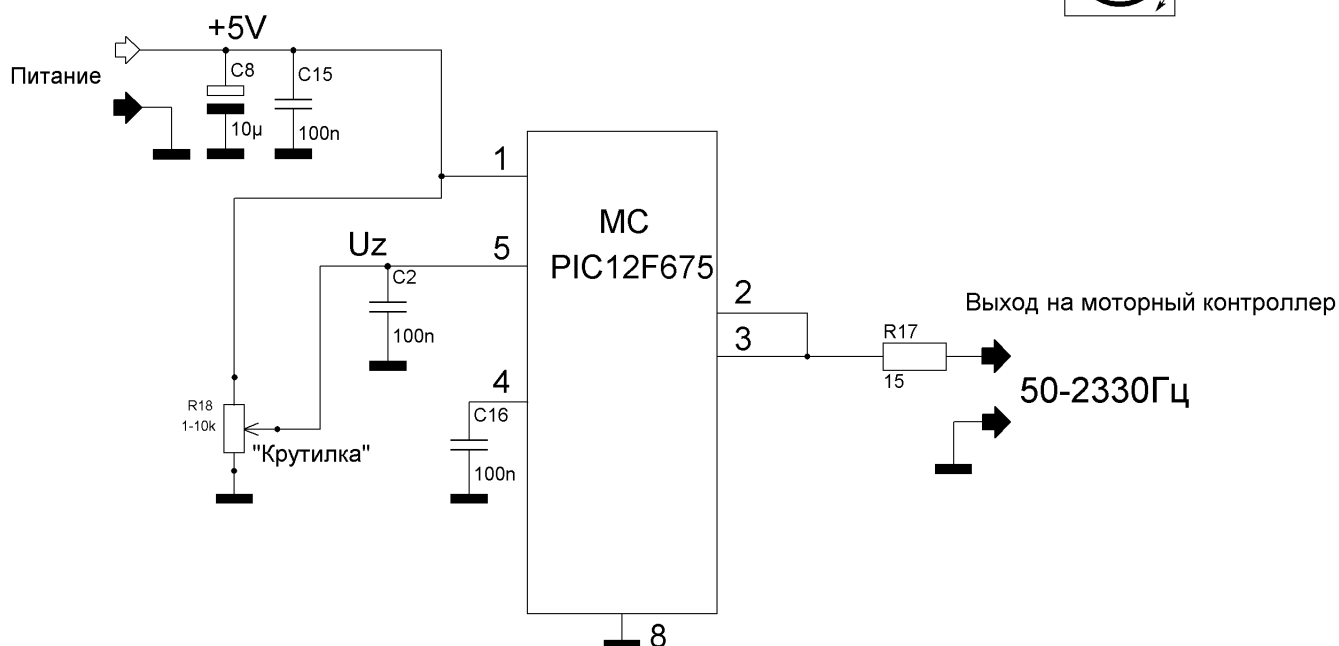


При слишком высоком значении частоты задания возникает переполнение счётчика, и моторный контроллер отключается с имитацией ошибки F02, в данном случае не связанной с реальной просадкой DC напряжения.

Сам генератор изменяемого частотного сигнала задания от аналогового напряжения может быть реализован на основе аналоговой или цифровой схемы. Для повышения стабильности вращения и плавности регулировки двигателя желательна стабильность и линейность характеристик генератора. В связи с этим рекомендуются задатчики на микроконтроллерах PIC12F675 или PIC16F676. Имеются соответствующие программы. Тактируются контроллеры также от внутреннего RC генератора с использованием заводского калибровочного значения осциллятора.

Рассмотрим схему задатчика на PIC12F675:

Задатчик частоты



От 27. 03. 2015г.

Рис 6. Принципиальная схема аналогового задатчика “Восьмикрут”

Схема предельно проста. Резистор R18 является той самой “Крутилкой” и задаёт на вход АЦП контроллера напряжение от 0 до 5В. Конденсаторы C15, C8 - развязывающие фильтры, C2 – фильтр напряжения задания с переменного резистора, C16 – фильтр по 4 ножке контроллера от ВЧ наводок, R17 – способствует снижению емкостной нагрузки линии на порт контроллера.



Программно генератор выполнен как линейный преобразователь “напряжение-частота”. Каждые 5мс происходит серия оцифровок сигнала напряжения и программное усреднение для повышения стабильности. На основе полученного значения осуществляется генерация импульсов симметричного меандра (скважность равна 2) соответствующей частоты. При нулевом задании генерации импульсов нет.

При линейном изменении напряжения от 40мВ – 4,85В частота линейно изменяется от 51Гц до 2339Гц (+/-10%). Шаг квантования напряжения 19,5мВ, средний шаг выходной частоты 9,3Гц, общее число шагов – 246.

Возможность частотного задания позволяет без усложнения текущей одноканальной схемы БП, с помощью оптопары, осуществить гальванически развязанную передачу частотного задания на связанный с высоким потенциалом моторный контроллер (см Рис. 8). Это необходимо для безопасной работы задатчиком, размещённым на пульте и на станках, а также при принятии сигнала с внешних управляющих устройств. Это может быть как непосредственно частотный сигнал, так и поданный на задатчик стандартный аналоговый сигнал напряжения 0-10В. При этом нужно только использовать делитель напряжения на 2 (для получения 0-5В).



2.6 Схемы внешнего пульта

Для возможности дистанционного управления приводом рекомендуется применять схему опторазвязки портов и вторичный маломощный гальванически изолированный источник питания. Плата развязок со вторичным БП располагаются внутри корпуса преобразователя, а сам пульт или кнопки выносятся при помощи кабеля в нужное место для осуществления дистанционного управления. Это может быть как стационарный пульт, так и ручной переносной.

Схема под кнопки выглядит следующим образом:

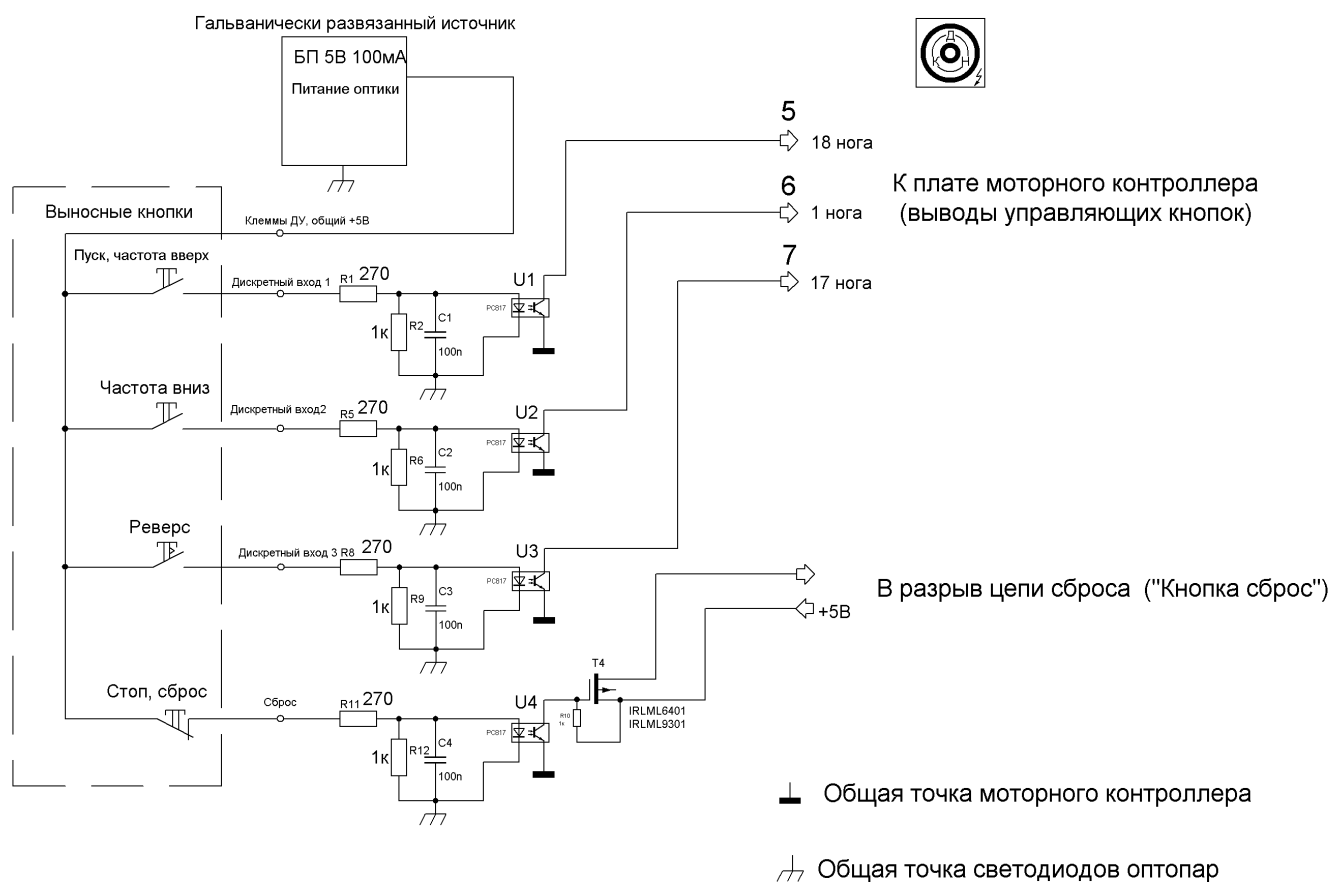


Рис 7. Принципиальная схема развязки для внешнего пульта “Восьмикрут”

Как видно, схема просто дублирует кнопки оптронами. Для такого вида управления необходим кабель с пятью жилами. Схема имеет фильтры наводок C1-C4. В качестве блока питания может использоваться любой, обеспечивающий напряжение 5В и ток 100мА, и надёжную гальваническую развязку от сети. Можно применять напряжения и выше, например 12В (меньше требование к качеству управляющих контактов) и увеличивать соответствующие резисторы в цепи светодиодов оптронов, чтоб обеспечить ток 10-15мА. При пропаже питания пульта или обрыве кабеля преобразователь отключит двигатель, и будет находиться в состоянии сброса (F0.1), т.к. закроется транзистор T4.



Данное свойство схемы также может обеспечить защитное действие, отключая преобразователь при пропаже напряжения в сети. При этом БП, питающий пульт, должен выключаться раньше, чем основной БП преобразователя.

В одной из новых версий программы с кнопками исключён переключатель реверса. Всё управление осуществляется тремя кнопками и достаточно уже 4 жилы кабеля и 3 оптрона.

Схема выносного пульта с задатчиком частоты выглядит так:

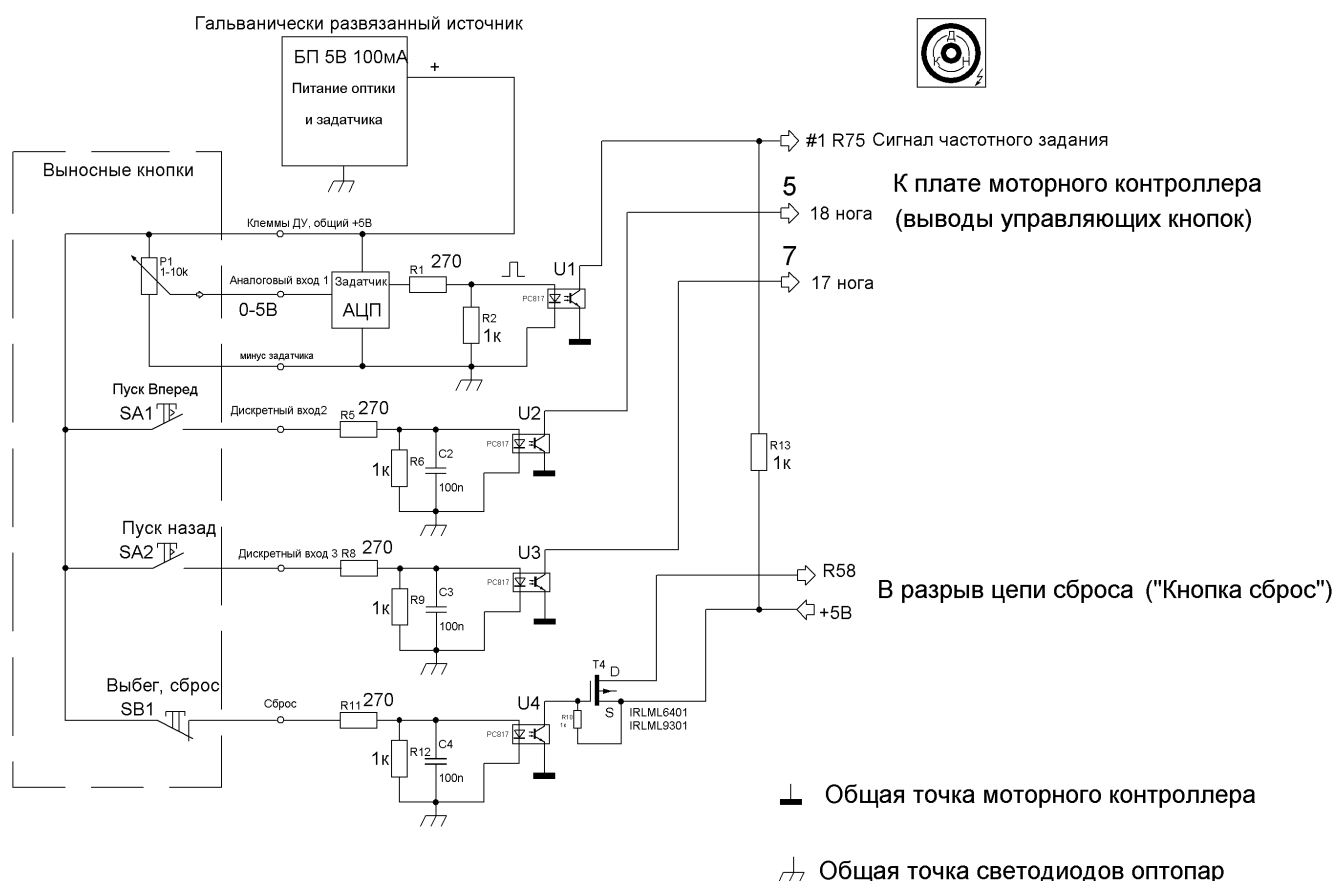


Рис 8. Принципиальная схема развязки с задатчиком для внешнего пульта "Восьмикрут"

Задатчик частоты размещается на плате гальваноразвязок и запитывается от развязанного напряжения. Частотный сигнал задания передаётся на моторный контроллер через оптрон U1, подтянутый резистором R13. В качестве источника гальванически развязанного напряжения использовался маломощный низкочастотный трансформатор на 220В, мостовой выпрямитель, фильтр и стабилизатор на 5В (7805).



3. БЛОК ПИТАНИЯ

Блок питания (БП) - основной узел необходимый для запитки платы управления частотного преобразователя, катушки реле фильтра выпрямителя, а также вентилятора обдува. От надёжности работы источника питания напрямую зависит надёжность и живучесть всего частотного преобразователя. Предпочтение отдаётся импульсным источникам питания, но возможно использование и низкочастотного трансформаторного варианта питания с применением стабилизатора, удовлетворяющего необходимым требованиям, которые будут определены далее.

3.1 Особенности питания и требования к БП.

Схемное решение “Восьмикрут” обеспечивает полнофункциональную работу преобразователя при наличии всего одного гальванически-изолированного от сети канала питания. На контроллере и контактах кнопок при этом существует высокий потенциал относительно земли. Влияния на работу контроллера при штатной схеме это не оказывает, но необходимо учитывать этот факт при монтаже и применять двойную изоляцию органов управления (пластмассовые кнопки и ручки). При необходимости развязки контроллера, нужно применять два изолированных канала питания. Однако без заземления через фильтрующие Y конденсаторы в БП потенциал контроллера остается высоким, особенно по высокой частоте. Заземление общего минуса контроллера и (или) его электрическое соединение с металлическим корпусом при этом нужно рассматривать отдельно. Это может создать дополнительные пути для помех. Предполагается основная эксплуатация устройства в двухпроводных сетях, где отсутствует проводник заземления.

В общем случае для упрощения изготовления импульсного трансформатора БП рекомендуется применять один гальванически изолированный от сети канал питания. При металлическом корпусе нужно надёжно изолировать от него все компоненты схемы, а сам корпус в целях безопасности может быть заземлён.

В случае использования двух каналов, для питания драйверов следует использовать стабилизированный канал. От него питать и вентилятор обдува.

При необходимости дистанционного управления, целесообразнее использовать гальваническую развязку по сигналам управления. Один канал БП использовать для питания всей платы управления без развязки, а второй (развязанный) с напряжением 7-9В использовать для питания цепей вторичного управления (пульта и светодиодов оптопар, см. схему внешнего пульта). Вторичные цепи пульта лучше вообще запитывать от отдельного маломощного низкочастотного трансформатора. Это упростит конструкцию импульсного трансформатора БП и обеспечит надёжное и безопасное дистанционное управление, особенно на металлообрабатывающих станках.



Оптимальная величина напряжения питания драйверов, для получения качественной двухполярной раскачки затворов силовых ключей – 24В. Это напряжение также подходит для питания катушки реле, шунтирующего цепь плавного заряда фильтра выпрямителя. Напряжение большей величины может вызвать перегрузку драйверов и повышенный нагрев стабилизаторов напряжения для контроллера, поэтому нецелесообразно. Пониженное напряжение снижает максимальный ток перезаряда затворов и отрицательную составляющую напряжения на затворе, что ухудшает коммутацию, особенно мощных транзисторных IGBT модулей. Также следует иметь в виду, что от изменения величины напряжения питания будет зависеть момент срабатывания реле и пропажа логического уровня контроля пониженного напряжения.

Для применённой схемы драйверов представляет опасность спад напряжения питания (независимо от внутренней защиты UVLO HCPL3120) со скоростью, при которой происходит существенное проседание амплитуды положительной полярности напряжения раскачки затвора (примерно $>3\text{В/с}$). При пропаже сетевого напряжения в работе, ток через двигатель и силовые транзисторы будет идти ещё некоторое время, пока DC напряжение не разрядится ниже порога и программная защита не снимет сигналы управления. В этот переходной момент ($1\div 2\text{с}$) БП должен обеспечивать питание драйверов и управления стабильным или медленно изменяющимся напряжением (скорость спада $\ll 3\text{В/с}$). Иначе, при прохождении через ключи силового тока, резкое проседание напряжения питания драйвера может вызвать повреждение транзистора из-за неполного открытия. Для обеспечения надёжности такой режим должен быть исключён. Это может быть достигнуто увеличением ёмкости конденсатора фильтра импульсного БП по высокой стороне ($\geq 150\text{мкФ}$) и возможности работы до $1/3$ оставшегося напряжения (100В). Однако, теоретически возможен режим пропажи питания при работе двигателя в генераторном режиме (торможение снижением частоты с инерционной нагрузкой) и тогда ток ключей и напряжение DC звена будут оставаться высокими, ошибки по снижению напряжения не будет, а срыв питания в этом режиме может привести к аварии. Для избежания этой вероятности было принято решение запитывать импульсный блок питания от DC звена преобразователя через развязывающий диод D20. В связи с этим была увеличена ёмкость гасящего конденсатора плавного заряда C33, для успешного запуска БП под нагрузкой и возможности дальнейшего заряда фильтра, и добавлена возможность отдельной цепи запитки БП от сети через диод D21 и резистор R6п (см. схему силовой части Рис 3).

В дальнейшем при экспериментах с нештатным торможением (торможение инерционной нагрузки снижением частоты с 75Гц или при подключении звездой, когда отсутствует подмагничивание) наблюдалось опасное для транзистора в БП возрастание напряжения DC звена и, было решено применять в нём полевые транзисторы на 800В. Добавка дополнительной цепи защиты от превышения напряжения DC на DA09 (см. схему управления Рис.3) смягчает это требование к транзистору, в зависимости от порога срабатывания VDZ.



Общий ток нагрузки БП по одному общему каналу питания складывается из тока потребления вентилятора, и платы управления. Плата управления, а именно драйвера и индикатор потребляют при питании 24В не более 250мА + ток катушки реле. Ток потребления схемой дистанционного управления от отдельного источника максимум 75мА.

Исходя из вышесказанного определяем требования к БП:

- надёжная гальваническая развязка канала выходного напряжения от входного напряжения
- диапазон входных напряжений -150÷450В (~110÷250В)
- стабилизированное выходное напряжение 24В +/- 5%
- выходной ток не менее 500мА+ток реле + ток вентилятора обдува
- при запитке от сети возможность выдачи стабильного выходного напряжения в течение 1,5-2с после пропажи питающего напряжения

В данном частотном преобразователе для его надёжной работы рекомендуется использовать блоки питания, соответствующие вышеперечисленным требованиям.

3.2 Рекомендованная схема БП и её проверка.

Блок питания VOSMIKRUT

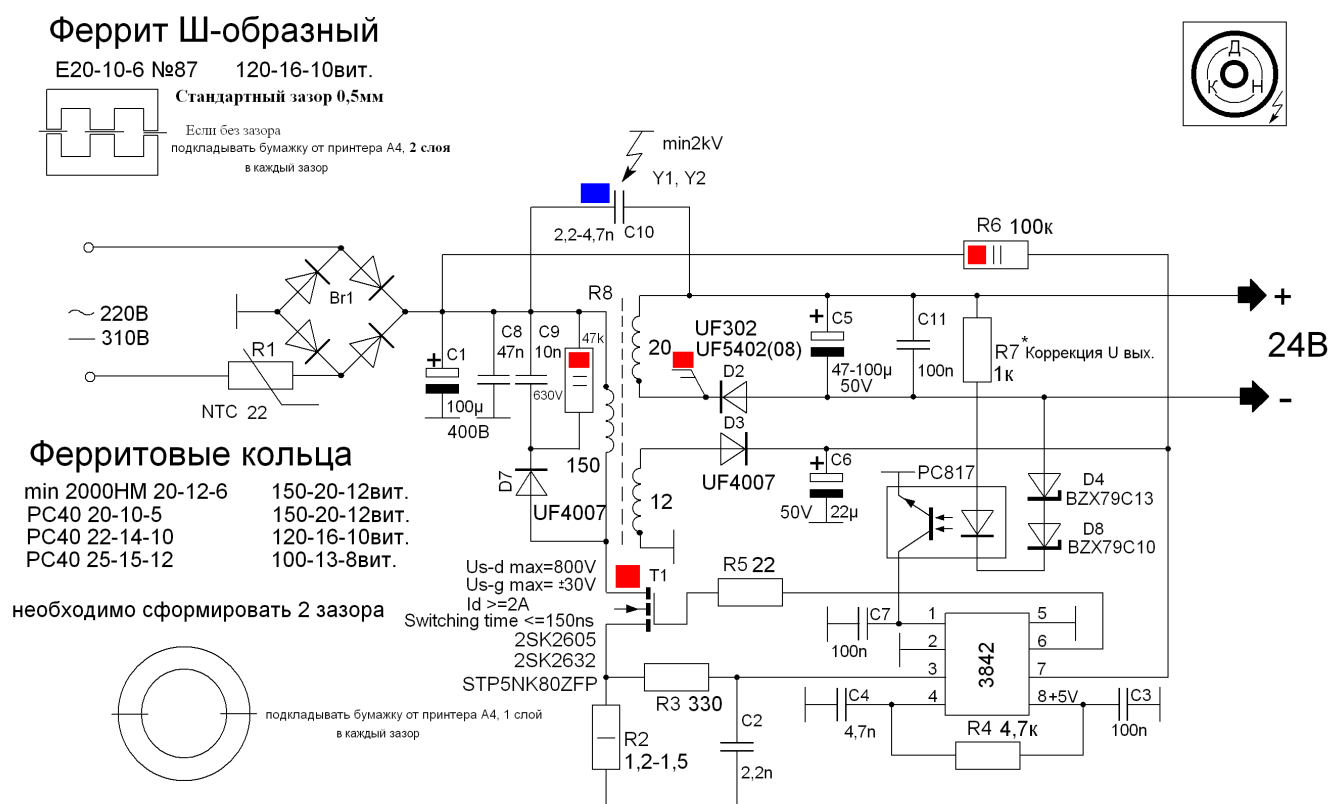


Рис 9. Схема принципиальная блока питания частотного преобразователя

Схема представляет собой обратноходовой (flyback) преобразователь на распространенном ШИМ контроллере серии 3842. Высокий коэффициент



заполнения ШИМ позволяет расширить нижнюю границу диапазона питающих напряжений (частично возможен асимметричный режим неразрывного тока). В импульсном трансформаторе БП необходимо наличие немагнитного зазора. Сам трансформатор может быть выполнен как на стандартном Ш – образном ферритовом сердечнике, так и на кольцевом феррите (только нужно сломать или распилить целое ферритовое кольцо, сформировать зазоры и склеить его). На схеме обозначены применённые на практике марки ферритов и количество витков обмоток. Средний требуемый немагнитный зазор 0,4-0,5мм. Из-за искажения пути магнитного потока в областях зазора, и возможных неровностей и сколов краёв феррита реальный зазор оказывается выше физического, поэтому на практике для ферритовых колец достаточным является слой бумаги от листа А4, примерно 0,12-0,2мм плюс слои клея в каждом зазоре. При чётко обработанных краях подкладываются 2 слоя бумаги.

Стандартный Ш – образный сердечник E20-10-6 от EPCOS необходимо выбирать из феррита №87 со стандартным зазором 0,5мм. Если на имеющемся в наличии сердечнике зазор мал или вообще отсутствует (**Ungapped**) то также подкладываются прокладки из бумаги под каждый керн (2 слоя, если совсем без зазора).

Первичную обмотку и обмотку питания микросхемы следует мотать проводом ПЭТВ-2 диаметром не менее 0,2мм, а обмотку на 24В диаметром 0,5-0,71мм. Первой наматывается вся первичная обмотка, желательно с межслойной изоляцией. Затем вторичная обмотка на 24В. Её витки желательно распределять равномерно по всей площади намотки. Обмотка питания микросхемы наматывается последней. Следует уделять особое внимание качеству изоляции обмоток друг от друга. Для межобмоточной изоляции лучше всего использовать лакоткань. Также обратить внимание на обозначение выводов начала и концов обмоток, для исключения ошибок.

Красным цветом на схеме отмечены нагревающиеся элементы. Наибольший нагрев возможен у резистора демпфера R8. При монтаже данные элементы необходимо приподнимать над платой (резисторы), а на диод D2 и транзистор T1 устанавливаются небольшие теплоотводы. Например, к ножке диода припаивается небольшой флажок из медной фольги, а на транзистор устанавливается маленькая алюминиевая пластинка-радиатор.

Синим цветом на схеме отмечен помехоподавляющий Y конденсатор C10. На таких типах конденсаторов есть соответствующие надписи. Изоляция конденсатора имеет повышенную прочность на напряжение 2кВ и выше. Использование иных типов крайне не рекомендуется и может быть опасным в плане надёжности гальванической развязки.

В качестве силового ключа используются скоростные полевые транзисторы на напряжение 800В. Допускается применение транзисторов на напряжение не менее 600В (БП будет уязвим при нештатном превышении DC напряжения выше 360В).



Проверку работоспособности собранной схемы БП можно произвести следующим образом:

1. Проверить комплектацию платы на отсутствие ошибок и замыканий при пайке, наличие всех деталей, смыть остатки флюса.
2. Соблюдая осторожность (желательно использование разделительного трансформатора), произвести первый запуск схемы БП от переменного напряжения 220В через лампу накаливания на 40-60Вт без нагрузки.
При этом лампа должна слегка вспыхнуть и погаснуть. Используя электроизмерительный прибор необходимо измерить постоянное выходное напряжение БП на холостом ходе. Оно должно соответствовать диапазону 23-25В и держаться некоторое время после отключения питания БП. При несоответствии диапазону напряжений подобрать сопротивление резистора R7, или также возможна замена одного из стабилитронов D4,D8.
3. Далее понадобятся резисторы на 100Ом и 200Ом для нагрузки БП.
Контролируя напряжение прибором, подключить нагрузку 100Ом к выходу БП. Напряжение при этом должно оставаться в диапазоне, а нить лампы накаливания может слегка начать светиться.
Затем подключить кратковременно нагрузку 200Ом (5-ти ваттный резистор, ток 1,2А). При этом должна начать ярко вспыхивать лампа накаливания с характерным свистом БП.
4. Проверить режим короткого замыкания БП. Осторожно замкнуть выход БП накоротко. При этом лампа накаливания не должна вспыхивать или светиться, а БП должен начать издавать щелчки. Это является обычным режимом для БП при запуске, и он может оставаться в нём долгое время. Если всё именно так, то можно убирать лампу и включать БП напрямую.
5. Проверить выходное напряжение при достаточном токе нагрузки. Для данного БП это 1А, берём с запасом 1,2А. Включить БП напрямую к переменному напряжению (без лампы накаливания) и, контролируя прибором выходное напряжение, подключить в качестве нагрузки резистор 200Ом (он будет прилично греться). Напряжение при этом должно остаться в диапазоне и никаких звуков от БП быть не должно, что свидетельствует о нормальной работе собранной схемы.
6. Возможен также дальнейший прогон БП на две последовательно включенные лампы накаливания 12В 8Вт в качестве нагрузки. При выключении питания БП должна быть чётко видна задержка перед пропажей напряжения на выходе. В дальнейшем, после сборки и отладки остальных узлов частотного преобразователя рекомендуется подключать питание БП от электролитов фильтра силового выпрямителя (см. схему силовой части Рис 3).



7. При наличии возможности получения пониженного напряжения (например, ЛАТР) можно проверить БП на напряжении 120-140В переменного тока, при этом аналогично должно держаться выходное напряжение 24В при токе нагрузки 1,2А.

FAQ Вопрос-ОТВЕТ

Информация взята с форума <http://www.radiokot.ru/forum/viewtopic.php?t=106385>

1. Блок питания от принтера 24 вольты 0,67 амперы. Его достаточно будет?

Маловат, хотя бы на 1А, будет надёжнее.

2. Зачем в блоке питания на 24 вольте, установлен конденсатор С10 4.7n?

Y-конденсатор от помех, проникающих из первички во вторичку через межобмоточную ёмкость импульсного трансформатора, замыкает петлю помех собой, а не через плату управы частотника.

3. Какой ток должен выдавать блок питания для питания драйверов при нагрузке 3-4 кВт? Какое минимально допустимое напряжение питания оптодрайверов?

Ток потребления управления с показометром в работе не более 250мА. Для оцутимой двухполярки на схему подавать надо от 18В, а у самих дров HCPL UVLO на 12В Выкл и 14Вкл.

4. Чем заменить UF302?

Можно ставить UF5402, можно и UF5408 или те-же HER308

5. Для пробного пуска собираюсь использовать отдельный БП на 24 вольты. Есть ли принципиальная разница, что включить сначала: 220в в розетку и сразу же БП на 24в или же наоборот? Или не принципиально?

Лучше чтоб сначала БП 24В, а потом сила. Можно одновременно. Главное - не выключайте БП 24В при работающем приводе.

6. Нашел кольца M2000NM 28-16-9 вопрос будут ли они работать?

Да, будут.

7. Мне просто сказали, что МК и управление силовой части лучше запитать от двух гальванически развязанных источников. Собираю по схеме с крутилкогенератором.

Или можно все запитать вместе от одного источника 24В?

Да, можно всё запитать от одного канала 24В. На плате просто предусмотрена возможность запитки от двух разных источников, но это приобретает смысл, когда есть много надстроек над контроллером с собственными землями, платами и заземлёнными питаниями.



4. УПРАВЛЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ И ПРОВЕРКА УЗЛОВ

Данный раздел посвящен описанию имеющихся на момент выхода документа вариантов схем управления и программного обеспечения частотного преобразователя “Восьмикрут”. Информация в этих разделах может обновляться по факту появления обновлений.

4.1 Варианты программ и схем управления частотным преобразователем.

На данный момент всю совокупность программ можно разделить на 2 группы:

- под моторный контроллер PIC16F628(A)
- под моторный контроллер PIC16F648A

По схемной реализации индикации обе группы можно разделить на:

- схемы управления без показометра (индикация светодиодами)
- схемы управления с показометром (трёхзнаковый семисегментный индикатор на контроллерах PIC16F630 или PIC16F676)

И, по схемной реализации управления частотой можно разделить на:

- управление частотой кнопками
- управление частотой задатчиком (крутилкой, PIC12F675)

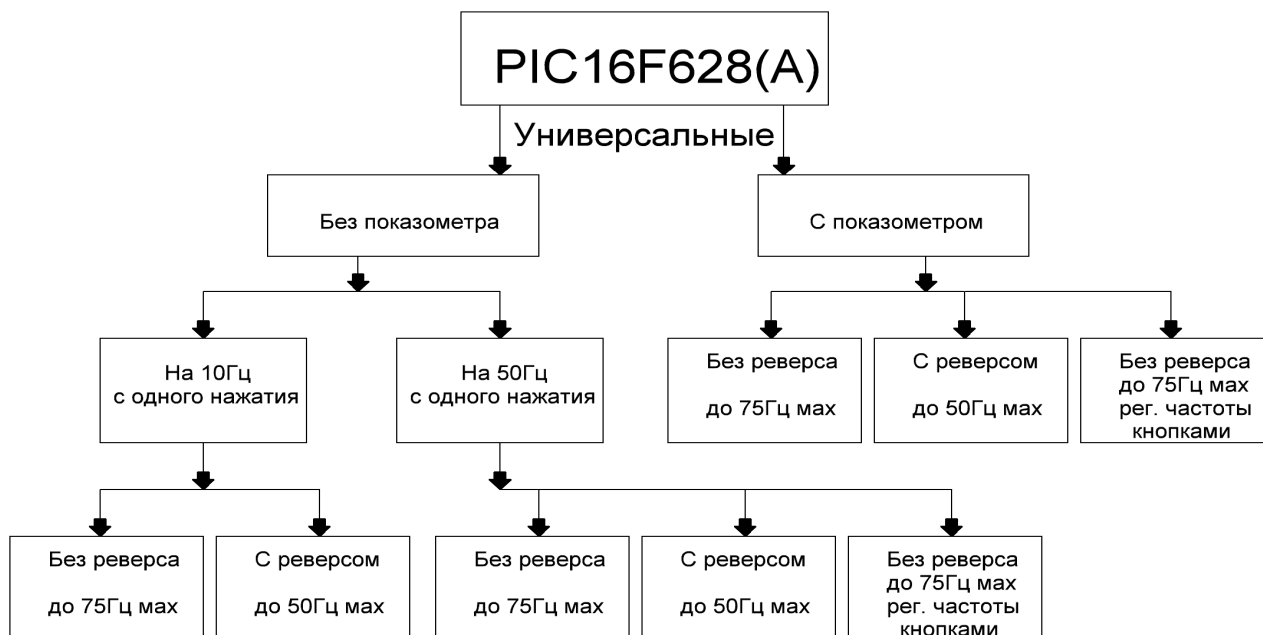
Для контроллера PIC16F648A имеются также варианты программ для однофазных двигателей и для трёхфазных мощностью $\leq 550\text{Вт}$, $\leq 1500\text{Вт}$ и $\leq 4000\text{Вт}$ с оптимальным моментным режимом.

Обновлённые архивы всех видов программ под все контроллеры можно найти [здесь](#), а также [здесь](#). Описание работы конкретной программы имеется в соответствующей с ней папке (файл с названием “Читать”). Также в универсальных архивах есть схемы и платы управления под каждый вариант, программы и схемы под показометр и задатчик. Для упрощения нахождения нужной программы теперь по вышеуказанным ссылкам имеется общий архив для PIC16F648A с удобной иерархией каталогов, согласно приведённой ниже структурной схеме.

Максимально простой вариант частотного преобразователя имеет всего один контроллер и кнопки управления. Если понадобится использование, например, варианта с задатчиком, но без индикации частоты – это возможно, т.к. наличие или отсутствие индикатора не оказывает влияния на работу моторного контроллера.



Структура программ 628 контроллера (шаг 1,25Гц)



Структура программ 648А контроллера (шаг 0,5Гц)



Рис 10. Структурная схема различных вариантов программ “Восьмикрут”



4.2 Программирование контроллеров.

В самом простом варианте частотного преобразователя потребуется запрограммировать всего один контроллер PIC16F628A или PIC16F648A имеющий большие возможности. При использовании индикатора частоты и ошибок программируется ещё контроллер PIC16F630(676). Для цифрового генератора задатчика частоты, программируется контроллер PIC12F675.

Что необходимо для программирования:

- Компьютер (с COM портом для рекомендуемого программатора)
- Программатор
- Обслуживающая программатор программа для компьютера (прошивальщик)
- Шестнадцатеричный файл программного кода с расширением HEX

Семейство контроллеров PIC16 программируются достаточно просто, по последовательному интерфейсу, фактически по двум проводам – данных и тактовому. Также необходимо подать питание 5В на микроконтроллер и подать высокое напряжение +12В на вход, включающий режим программирования. Для многих контроллеров имеется режим и низковольтного программирования (LVP), но при этом теряется ножка порта. В данном случае необходима работа всех портов и поэтому контроллеры для частотного преобразователя программируются в обычном режиме с напряжением 12В. Для создания этих условий имеется множество программаторов. Режим внутрисхемного программирования не предусматривался.

Используемые устройства PIC16 имеют 3 типа памяти: FLASH (память программ), EEPROM (память данных), SRAM (оперативная память). В процессе программирования, в зависимости от программы, осуществляется запись программного кода в FLASH память программ, запись данных в EEPROM, а также запись конфигурационных бит (они же “фьюзы” от fuse).

HEX файл программы содержит внутри все необходимые данные, в том числе и по конфигурации. Конфигурация определяет режим тактирования контроллера (НЧ-ВЧ кварц, внутренний RC – генератор и т.д.), задержка включения при подаче питания, режимы сброса и т.п.

В качестве особых, следует отметить конфигурационные биты защиты программного кода и данных. При их установке и записи конфигурации, память программ и данных контроллера оказываются недоступными для чтения (при попытках чтения содержимого памяти считываются нули). В связи с этим возникало множество проблем при проверках записанного кода. В зависимости от настроек программы прошивальщика, можно осуществлять проверку записи кода и данных при программировании (запись – чтение, но до записи бит конфигурации), а также



уже после полного программирования. И соответственно во втором случае, если биты защиты установлены, проверка кода не увенчается успехом. На сегодняшний момент на почти всех программах частотного преобразователя “Восьмикрут” установлена конфигурация с выключенными битами защиты. Проблем с чтением памяти устройства быть не должно.

Пример рекомендуемой простой схемы программатора JDM:

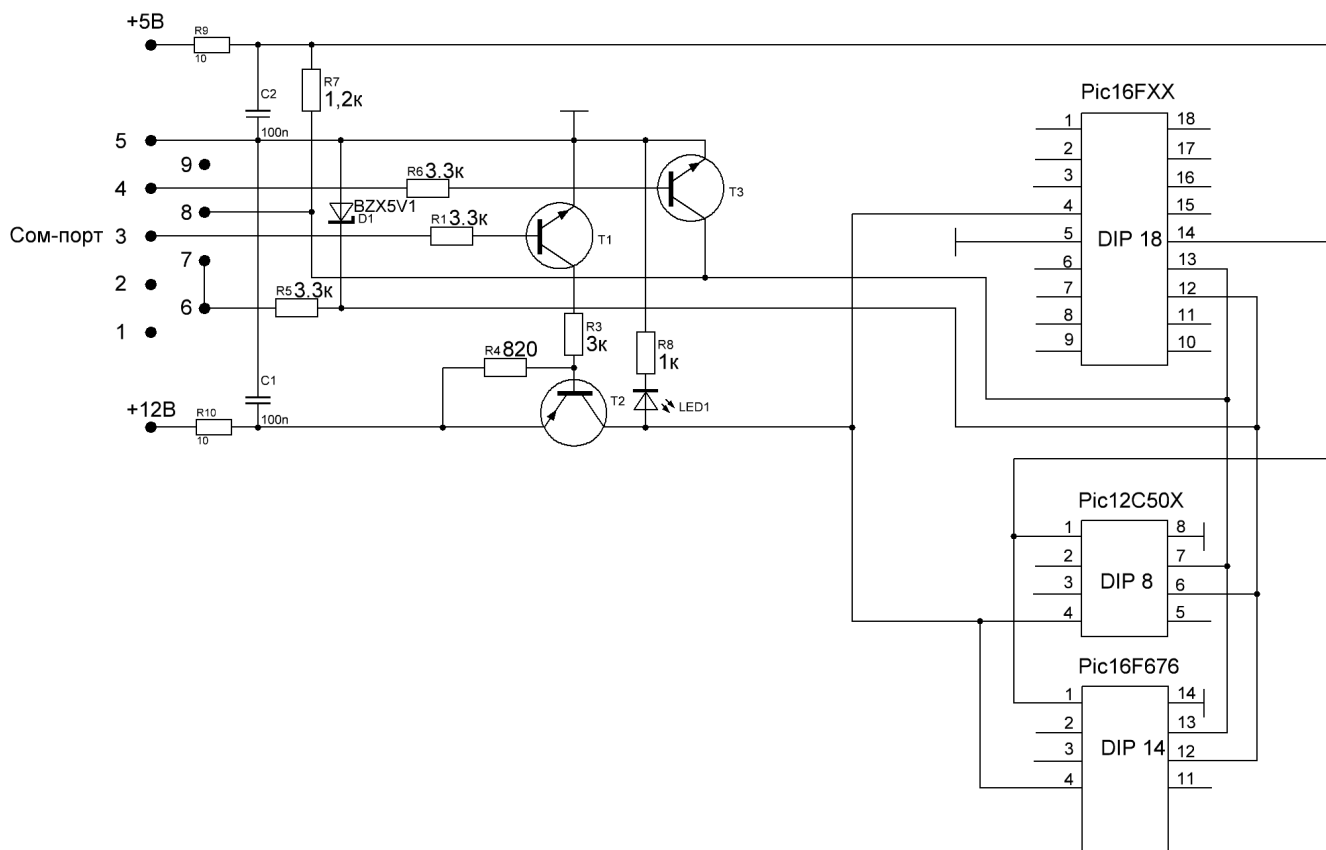


Рис 11. Принципиальная схема программатора JDM с внешним питанием.

Схема может быть запитана от отдельного источника напряжений, а может и от самого БП компьютера, с использованием стандартного разъема питания 5-12В. Архив со схемой в формате SPL имеется [здесь](#).

В программах прошивальщиках при использовании данной схемы необходимо в настройках ввода-вывода включать *инверсию данных вывода (invert data out)*. Программатор многократно и успешно использовался для программирования контроллеров совместно со многими программами прошивальщиками (IC-Prog, PICpgm и др.)

Эти программы и информацию по ним можно найти в сети интернет.

Программирование PIC16F628A-648A не имеет никаких особенностей. В программу прошивальщик загружается HEX файл и стандартно программируется.



Особенностью программирования PIC16F630 (676) и PIC12F675 является то, что новые контроллеры хранят в памяти заводское значение калибровочной константы для внутреннего RC-генератора (оно же осциллятора). В схемах индикатора (показометра) и задатчика (крутилки) им предстоит тактироваться от внутреннего RC-генератора, частота которого может программно подстраиваться и стандартно должна быть равна 4МГц. Заводское численное значение величины подстройки своё для каждого устройства и записано в последнюю ячейку памяти программ. *Её необходимо считать и сохранить.* Многие программы прошивальщики делают это автоматически, о чём выдаётся сообщение. Но надёжнее *сначала произвести обычное чтение содержимого памяти нового контроллера и сохранить куда-либо значение, которое будет в последней ячейке памяти в виде 34XX*, где 34 – это ассемблерный код команды retlw, а XX – может быть любое шестнадцатеричное число - это собственно сама константа. Например, можно сохранить его, нацарапав число прям на брешке микросхемы. В дальнейшем, если случайно затрётся, то можно легко восстановить, прописав вручную эти самые 34XX в последнюю ячейку памяти после открытия HEX файла программы.

Если вдруг значение константы оказалось утерянным, или записано **неверное значение** и контроллер работает некорректно, (либо вообще не стартует), то нужно **записать среднее значение. Оно равно 3480**. Обычно работоспособность восстанавливается. Затем есть возможность, например для контроллера задатчика, методом подбора установить значение, при котором генерируется нужная частота. Нужно иметь в виду что число 80 шестнадцатеричное, что соответствует числу 128 в десятичной системе.

Программы для индикатора частоты на **PIC16F630 (676)** (показометр) необходимо выбирать под конкретную используемую программу моторного контроллера **PIC16F628A-648A**, на 50, 200, 400Гц. А также под схему и используемый индикатор (общий анод или общий катод).



4.3 Проверка платы управления.

Платы управления частотным преобразователем однотипны и имеют лишь небольшие отличия в плане разводки управляющих дорожек согласно применяемому схемному решению.

Данный пункт описывает начальную проверку изготовленной платы управления частотного преобразователя без наличия силовой части.

Для проверки готовой платы необходимо:

- Источник питания 24В, >0,5А (изготовленный штатный или любой другой)
- Укомплектованную плату и прошитый моторный контроллер
- Мультиметр
- Осциллограф (крайне желателен)
- Соединительные провода, кнопки (тумблеры) управления, светодиоды.
- Батарейка на напряжение 4,5В.

Проверку рекомендуется проводить по пунктам, перечисленным ниже:

1. Внешний осмотр печатной платы, **проверка на отсутствие ошибок пайки**, наличия всех деталей. На данном этапе выявляются возможные “ляпы” при изготовлении. Припаивание питающих проводов, подключение кнопок управления и светодиодов к плате согласно применяемой схеме.

2. Формирование питания верхних драйверов HСPL посредством установки трёх временных перемычек. **При проверке драйверов без силовых транзисторов, необходимо подключить выводы 8, 12, 16 к минусу питания** (просто поставить перемычки 8-10, 12-14, 16-18).

3. **Проверка при первой подаче напряжения 24В** на плату управления без контроллера. Измеряем напряжение питания + 5В на 14 ножке и **напряжение высокого уровня на 4 ножке панельки контроллера – должно быть примерно 4,3В. При зажатой кнопке “Сброс” напряжение на 4 ножке должно отсутствовать.**

4. **Проверка запуска контроллера** на плате по индикатору готовности или по измерению лог. уровней. **При подаче питания на плату управления через 2 секунды должен начать мигать светодиод готовности, а в программах с показометром, где светодиод готовности не используется, на второй ножке контроллера появляется постоянно высокий лог. уровень +5В (это соответствует ошибке F0.2).** При нажатии и отпуске кнопки “Сброс” высокий уровень пропадает и через 2с появляется снова.

5. **Имитация наличия напряжения DC-звена. Выключить питание, замкнуть временной перемычкой коллектор с базой у транзистора Т4. Включить**



питание и проверить наличие напряжения +23В на выводах к реле KV и вход контроллера в готовность по постоянному свечению светодиода готовности (а в программах с показометром высокий уровень на 2 ножке уже не появляется).

6. **Запуск генерации ШИМ** из состояния готовности кнопкой пуск (или тумблером), возможна регулировка частоты и её контроль по индикаторным светодиодам. Произвести **проверку выходных управляющих сигналов драйверов осциллографом**. Форма управляющих импульсов на каждой из шести затворных пар должна быть следующей:

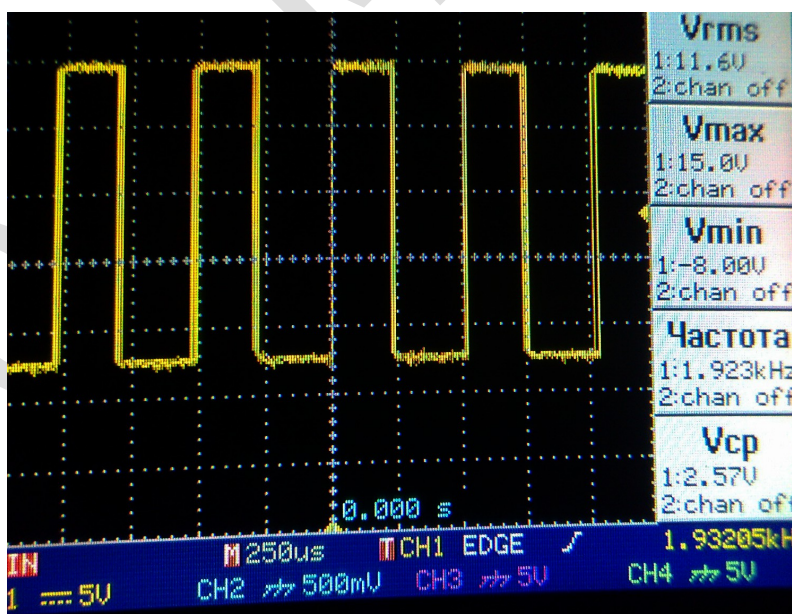
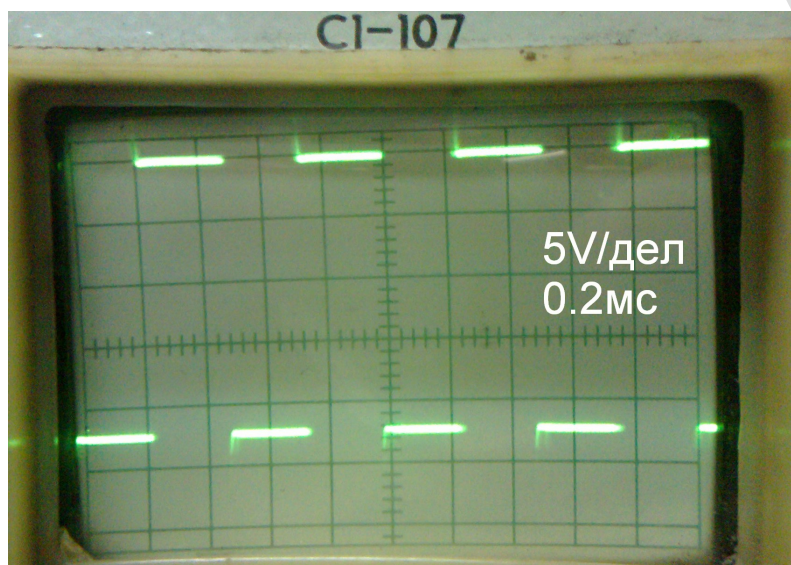


Рис 12. Осциллограммы управляющих импульсов на выходе платы управления при генерации контроллером выходной частоты 1Гц



Форма управляющих ШИМ сигналов при генерации частоты 50Гц представлена ниже:

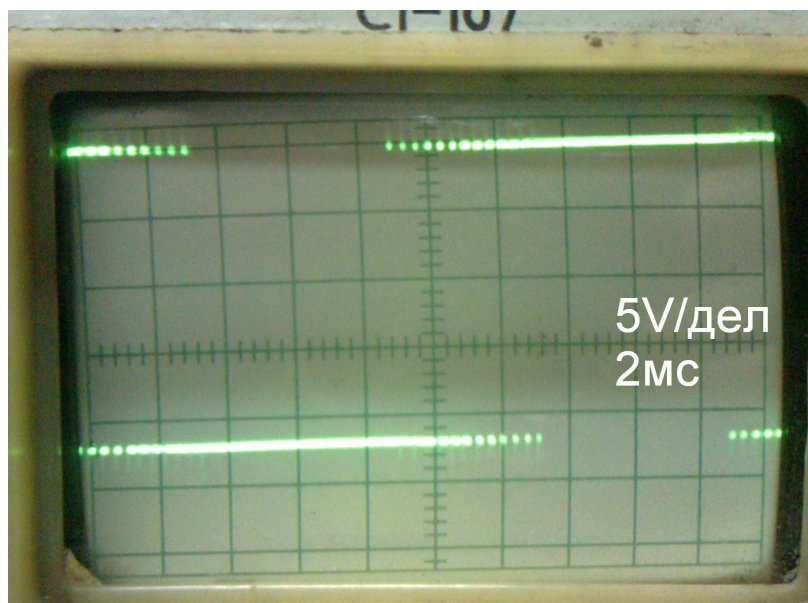


Рис 13. Осциллограмма управляющих импульсов на выходе платы управления при генерации контроллером выходной частоты 50Гц

С помощью осциллографа также возможно выполнить **визуальную проверку наличия мёртвого времени (dead time)**. Для этого нужно измерить сигнал между затворными выводами одной стойки, например между 9 и 11. Сигнал должен выглядеть следующим образом:

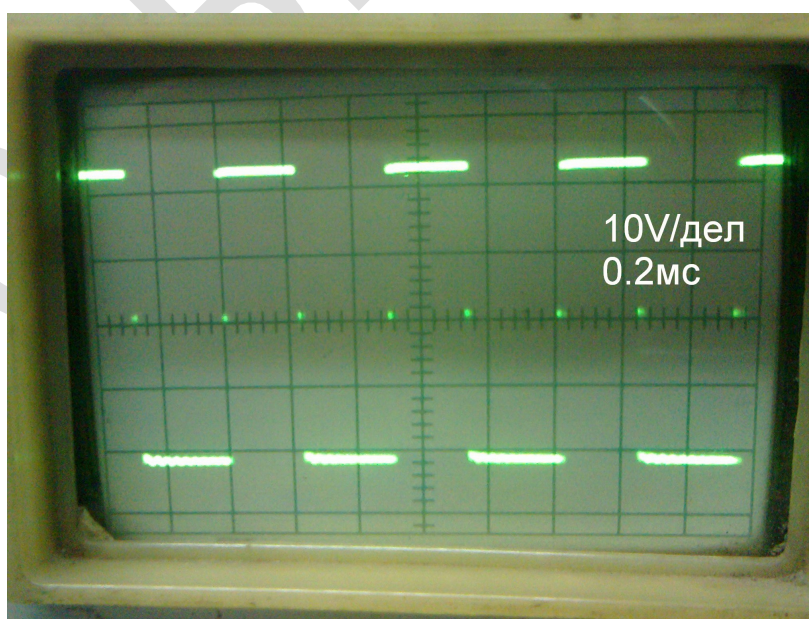


Рис 14. Осциллограмма сигнала между затворными выводами одной стойки ключей для проверки наличия мёртвого времени при генерации контроллером выходной частоты 1Гц

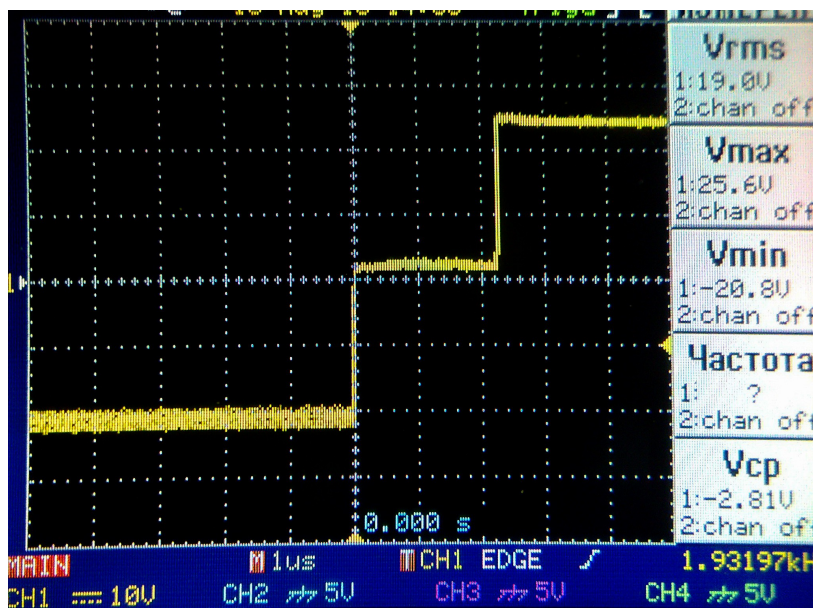


Рис 15. Цифровая осциллограмма сигнала между затворными выводами одной стойки ключей для проверки наличия мёртвого времени (2мкс) при генерации контроллером выходной частоты 1Гц

При отсутствии осциллографа имеется возможность косвенно проверить наличие импульсов, измерив мультиметром в режиме «переменки» напряжение на выходных затворных парах. При питании драйверов напряжением 24В и генерации контроллером частоты 50Гц должны быть получены примерно одинаковые значения напряжения в диапазоне 11,5-13В.

7. Проверка работы схемы токовой защиты имитацией токового сигнала батареей. Кратковременно (при длительной подаче возможен чрезмерный нагрев резистора R33) подать напряжение батареей между выводами 1 и 2 соблюдая полярность: + на вывод 1. При этом должно произойти снятие импульсов управления и сброс контроллера. О срабатывании триггера защиты просигнализирует светодиод “Сверхток”, пропадёт напряжение высокого уровня на 4 ножке контроллера и появится снова только после нажатия и отпускания кнопки “Сброс”.

8. Проверка срабатывания защиты по превышению напряжения DC.

Данная защитная цепочка включает в себя всего 4 элемента и обычно не требует проверки. Однако можно это сделать, подав напряжение 24В от питания платы на выводы 3 и 4 соблюдая полярность, а затем кратковременно перемкнуть супрессор VDZ. При этом должно произойти **выключение генерации импульсов и должен начать мигать светодиод готовности (а в программах с показометром на второй ножке контроллера появляется постоянно высокий лог. уровень +5В)**

При нормальной отработке этих пунктов, если всё работает чётко, можно приступать к проверке с силовой частью, удалив установленные временные пере-



<DC-AC> VOSMIKRUT – устройство и наладка



мычки для питания драйверов, коллектор-эмиттер T4 для имитации наличия DC-звена, а также освободить точки 3 и 4 для дальнейшего подключения высокого напряжения.

ВОСЬМИКРУТ