



Активный модуль питания и рекуперации “Бульдюк HD600”.

AFE

Питание мощных преобразователей частоты от одной фазы.

(версия 1.3)



Содержание

1. Активный модуль питания Бульдюк HD600 AFE.....	3
1.1 Принцип работы.....	5
1.2 Силовая схема.....	7
1.3 Схема управления.....	13
1.4 Проверка платы управления.....	15
1.5 Ввод в работу, настройка обратной связи.....	17
1.6 Список ошибок.....	18





1. Активный модуль питания Бульдюк HD600 AFE

Одним из способов решения проблем с просадкой напряжения DC-шины и негативного влияния на питающую сеть является питание инвертора частотного преобразователя от активного выпрямителя (AFE). Подобные модули питания и рекуперации выпускаются многими производителями приводной техники в трёхфазных вариантах.

Ниже представлены схемы и описание простого однофазного активного повышающего модуля **Бульдюк HD600 AFE**, предназначенного для питания преобразователей частоты Восьмикрут HD600 и любых других промышленных преобразователей, работающих с напряжением звена постоянного тока 600В.

Схемы, программное обеспечение и дополнительная информация доступны [здесь](#) и [здесь](#).

Предыдущий вариант решения, блок активной подкачки с выходным напряжением 310В можно посмотреть [здесь](#) и [здесь](#).



Основные характеристики Бульдюк HD600 AFE:

-входное напряжение однофазное:	~180-250В 50Гц
-просадка напряжения под нагрузкой:	до 155В
-входной переменный ток:	25А
-перегрузка по току:	до 40А
-коэффициент мощности, PF:	+/- 0,94-0,99

(зависит от искажений формы напряжения в сети, а также чем выше нагрузка, тем выше значение PF)

-КПД:	0,96
-------	------

-выходное постоянное напряжение:	520-650В
-напряжение х-х:	590В
-номинальный постоянный ток:	10А
-номинальная DC-мощность:	+/-5кВт

(зависит от применённой электроники, дросселя, сопротивления линии питания, охлаждения)

-рекуперация генераторной энергии привода в сеть или рассеивание на тормозном сопротивлении (выбирается пользователем)

Примечание. Электронные счётчики электроэнергии, не запрограммированные на учёт рекуперации, считают отданную через себя энергию как потреблённую (плюсуют). Но, когда отдача энергии при торможении оказывается меньше или равна суммарному потреблению других бытовых электроприёмников, отданная энергия расходуется на работу этих самых электроприёмников, а счётчик в этот момент замедляет счёт.



1.1 Принцип работы

В данном устройстве применяется безмостовая топология и цифровое параметрическое векторное управление током дросселя. Данный алгоритм существенно отличается от классического управления корректорами коэффициента мощности. Функционирование в сети аналогично работе синхронной машины и возможен двунаправленный поток энергии – потребление из сети и отдача обратно (рекуперация).

Цифровая система управления, построенная на изменённом ядре Восьмикрута HD600 (микроконтроллер PIC18F1330), генерирует синусоидальный ШИМ сигнал, синхронизированный с сетью, но регулируемый по фазе и напряжению. Индуктивность силового дросселя L включается между двумя источниками напряжения: с одной стороны - питающая сеть, а с другой – сформированный инвертором ШИМ сигнал. Для пояснения основного принципа регулирования потока энергии на рис. 1 изображена схема замещения установки и векторная диаграмма в синхронной с сетью системе координат X - Y для режима потребления энергии.

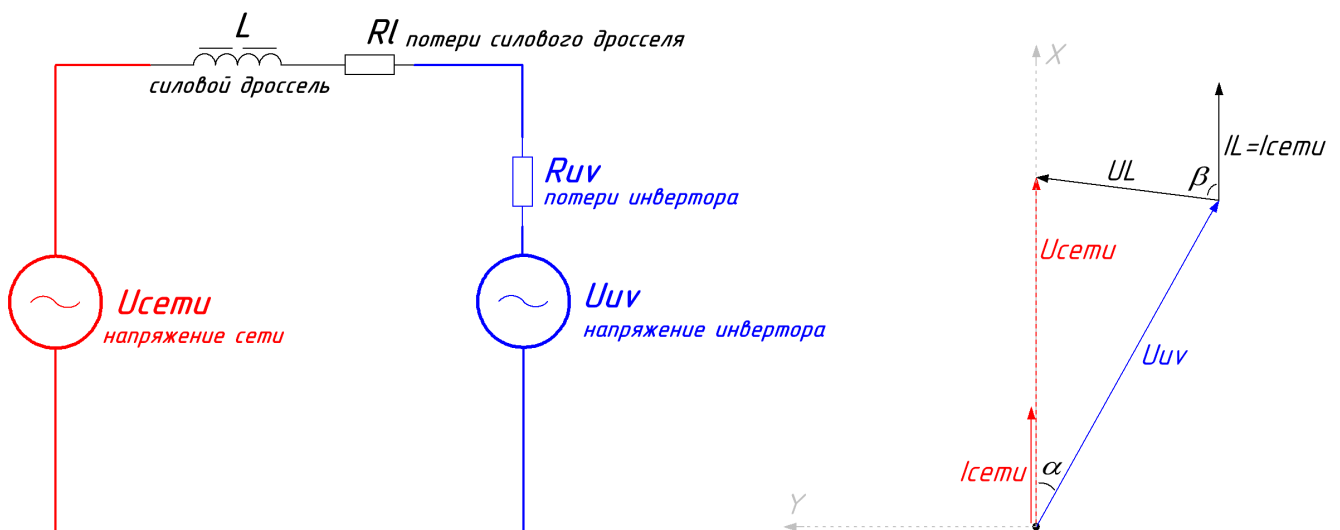


Рис 1. Схема замещения и векторная диаграмма активного модуля питания для режима потребления энергии.

Вектор напряжения инвертора $\vec{U_{ув}}$ отстаёт от напряжения сети на угол α . Напряжение на дросселе $\vec{UL}$ определяется как геометрическая разность векторов $\vec{U_{сети}}$ и напряжения инвертора $\vec{U_{ув}}$. Ток дросселя $\vec{I_L}$, он-же ток питающей сети, пропорционален напряжению $\vec{UL}$ и отстает от него по фазе на угол β , который чуть менее 90град. из-за потерь в дросселе и инверторе. В итоге напряжение и ток сети совпадают по фазе, энергия потребляется из сети, коэффициент мощности близок к единице.

Ниже изображена векторная диаграмма для режима рекуперации.

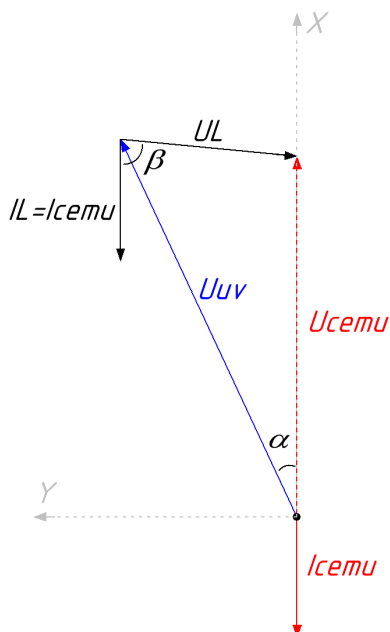


Рис 2. Векторная диаграмма активного модуля питания для режима рекуперации энергии.

Здесь вектор напряжения инвертора $\vec{U_{uv}}$ опережает $\vec{U_{сети}}$ на угол α и по модулю он стал больше, $\vec{UL}$ и $\vec{IL}$ изменили направление на 180град. Теперь напряжение и ток сети находятся в противофазе, энергия отдаётся в сеть, коэффициент мощности близок к минус единице.

Буферным накопителем энергии являются конденсаторы DC-шины. Если приток энергии выше расхода – напряжение растёт, если ниже – падает. Задача системы управления – поддержание напряжения DC-шины в необходимом диапазоне. Для этого в программе выполнен пропорциональный регулятор напряжения. Его выход на основе табличных данных векторной модели, задаёт нужный $\vec{UL}$ и соответственно $\vec{IL}$, регулируя фазу α и модуль $\vec{U_{uv}}$.

Модель отлажена для индуктивности **8,5мГн** и позволяет выполнить параметрическое управление током, без применения датчика тока. Материал сердечника силового дросселя – трансформаторная сталь. Низкая частота ШИМ (**9,8кГц**) позволяет использовать обычные драйверы, IGBT-модули и транзисторы, которые применяются для инверторов частотных преобразователей. Пульсации тока на частоте ШИМ не превышают двух ампер.

Управление полумостами инвертора выполнено несимметричным для снижения частоты плавающего потенциала DC-шин относительно земли. Также выполнены алгоритмы плавного заряда DC-шины при включении, управление тормозным транзистором при ограниченной рекуперации, функции защиты.





На силовом дросселе постоянно присутствует высокочастотная компонента от ШИМ, а также формируется основное регулируемое напряжение $\overline{UL}$ с частотой 50Гц, величиной $\leq 110V$.

Напряжение 110В будет в максимальном режиме накачки (максимальная мощность). Магнитная индукция В (Тл) в сердечнике пропорциональна напряжению, которое приложено к дросселю. Чтобы сердечник был использован полностью, максимальное значение индукции ($\sim 1,7-1,8Tл$) должно соответствовать максимальной накачке, т.е. напряжению 110В. Рекомендуется рассчитывать число витков дросселя как для первичной обмотки трансформатора на 110В, при этом брать высокую индукцию $\sim 1,7-1,8Tл$.

При этом потери мощности в сердечнике от высокочастотной составляющей (ШИМ) в зависимости от марки и толщины стали составляют в среднем 30-60Вт. Увеличение числа витков снижает потери, но не всегда целесообразно.

Минимальное сечение железа 2000кв.мм.

Пример - дроссель на ШЛ железе 50*40-90 (ОСМ1-0,63) 2000кв.мм. 135 витков (железо с высокой индукцией).

Рекомендуемое сечение 2500кв.мм и больше.

Пример - Дроссель на ШЛ железе 50*50-90 (ОСМ - 0,63) 2500кв.мм. 120 витков

Рекомендуемый провод обмотки медь, диаметром 2мм в два провода (сечение 6мм²). Допускается сечение не менее 4мм² (при длительной нагрузке необходим обдув дросселя).

Дроссель сначала собрать без зазора и проверить от ЛАТРа, плавно поднимая напряжение до 110В и измеряя ток. При подходе к 110В не должно наблюдаться входа в насыщение (когда ток начинает резко возрастать) и величина тока не должна превышать 10А.

Ниже на рис.4 приведены графики токов хорошего железа ШЛ50*50-90 (ШЛ2500; 0,27) и более старого (Ш2500, 0,5) определяющего условную границу применимости. Ток не должен выходить за верхний график. Чем ближе к нижнему графику, тем лучше и как правило меньше потерь в железе дросселя (в том числе от высокочастотной ШИМ составляющей).

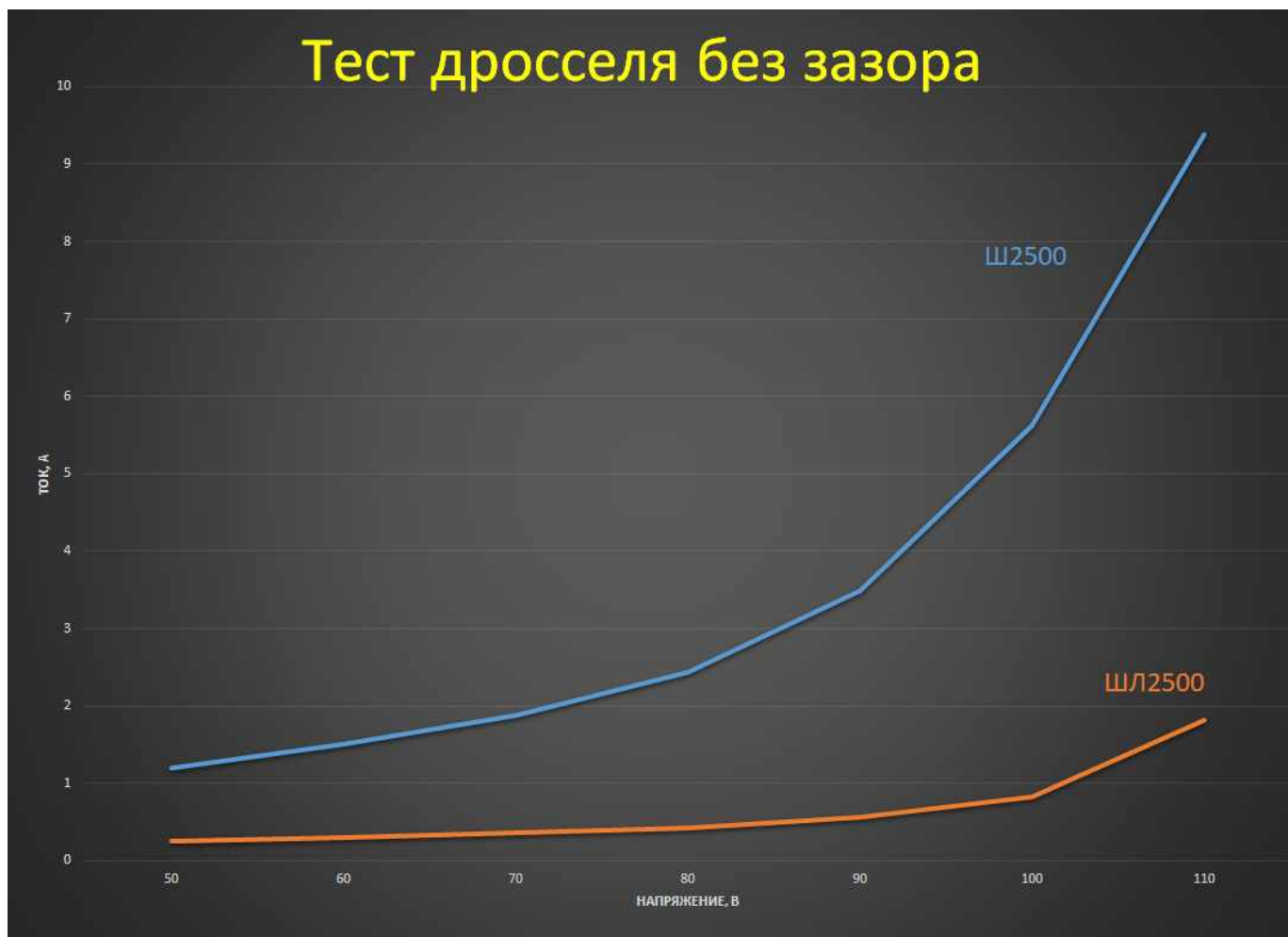


Рис 4. Токи дросселей без зазора в зависимости от напряжения, 50Гц

Если всё хорошо, выставить рабочую индуктивность дросселя ~8-8,5мГн подбором немагнитного зазора. Основная энергия дросселя сосредоточена именно в магнитном поле зазора. Вблизи него возникает сильная напряжённость и нежелательно располагать рядом проводники, а также перекрывать зазор по краям железной арматурой крепежа (лучше применить диэлектрическую немагнитную арматуру).

Определять индуктивность лучше всего методом вольтметра-амперметра, задавая переменный ток дросселя (5-10А) и измеряя падение напряжения на обмотке. Для задания тока можно использовать ЛАТР или подключать дроссель на сеть последовательно с активным сопротивлением (нагревательный элемент чайника). При частоте тока 50Гц индуктивность рассчитывается по формуле:

$$L = 3,18 * UL / IL$$

где:

L – индуктивность дросселя, мГн

UL – напряжение на дросселе, В

IL – ток дросселя, А

Для 8мГн при 10А напряжение на дросселе должно составлять ~26В.



Резистор плавного заряда R48 должен выдерживать большую мощность в течение ~0,5-1с, что необходимо для предварительного заряда DC-шины. Далее резистор шунтируется контактом реле KV.

KV - могут применяться **два** параллельных **реле** с током контактов не менее **16А** каждое, или одно реле с током контакта не менее **30А**.

Схема **активного выпрямителя AFE** выполнена на **IGBT модуле** и идентична силовому трёхфазному инвертору Восьмикрута HD600, за исключением отсутствия управления ключом №5 (требуется только его обратный диод). Могут быть применены и дискретные IGBT. Номинальный постоянный ток IGBT при 80град. должен быть не менее 50А.

Трансформатор Trs – синхронизирующий и измерительный трансформатор типа ТТП-6. Имеет первичную обмотку на 230В и две вторичных обмотки на 15В каждая. Они должны быть сфазированы и подключены согласно принципиальной схеме. Одна из вторичных обмоток включается последовательно согласно с первичной для увеличения входного напряжения трансформатора (уменьшения магнитного потока). Это способствует снижению фазовых искажений сигнала синхронизации при возможно высоком напряжении в сети (влияние насыщения железа трансформатора при напряжениях более 240В).

Rt – тормозной резистор. При редком торможении (1 раз в минуту) с двигателем 3-4кВт можно применять резистор **ПЭВ100 470м**. При более интенсивных и продолжительных торможениях количество и мощность резисторов необходимо увеличивать. Если выбрано торможение с рекуперацией в сеть, резистор не активен и может не устанавливаться. Следует иметь в виду, что интенсивная рекуперация энергии может поднять напряжение в сети до уровня срабатывания защиты от перенапряжения (255-260В). Рекомендуется выполнить пробные интенсивные торможения привода для определения запаса по мощности торможения в конкретной сети.

БП-24В – блок питания электроники. Для обеспечения электромагнитной совместимости и функций защит блоки питания в активном модуле AFE Бульдюк и в частотном преобразователе должны быть запитаны от DC-шины. Входное напряжение **50-800В**, выходное развязанное 24В, 1А. Рекомендуется обратногоходовый БП с полевым транзистором на 1200-1500В. Также запитка блоков питания от DC-шины ускоряет разряд конденсаторов до безопасного уровня после выключения питания.

Rш – резисторы шунта, датчики тока для быстродействующей максимальной токовой защиты IGBT. Под нагрузкой нагреваются. Рекомендуется монтировать узел резисторов с сохранением конвекции воздуха или обдувом.

C36 – снабберный плёночный конденсатор или несколько конденсаторов. Устанавливается на выводы IGBT-модуля или дискретных транзисторов.

C1-C2 – электролитические конденсаторы DC-шины. Устанавливаются в непосредственной близости к IGBT и **Rш**. На схеме указана минимальная общая ёмкость 500мкФ (2 по 1000мкФ). При подключении частотного преобразователя,



конденсаторы, установленные в нём, добавляют общую величину ёмкости DC-шины. Для стабильной работы регулятора необходима общая ёмкость не менее 1500мкФ. Для требований высокой динамики и импульсных нагрузок (компрессоры) необходимо увеличивать ёмкость DC-шины до 2000-4000мкФ. Для этого может быть собрана внешняя конденсаторная батарея и подключена на клеммы DC-шины.

Для передачи постоянного тока от активного AFE модуля питания к частотному инвертору необходимо использовать только надёжное кабельное соединение через клеммники. Коммутационные аппараты и разъёмы не допускаются.

Все работы по монтажу выполнять только со снятием сетевого напряжения питания и контролем отсутствия постоянного напряжения на конденсаторах DC-шины.

Схема подключения частотного преобразователя Восьмикрут через активный модуль питания представлена ниже:

Линейное подключение Восьмикрута Через активный модуль питания

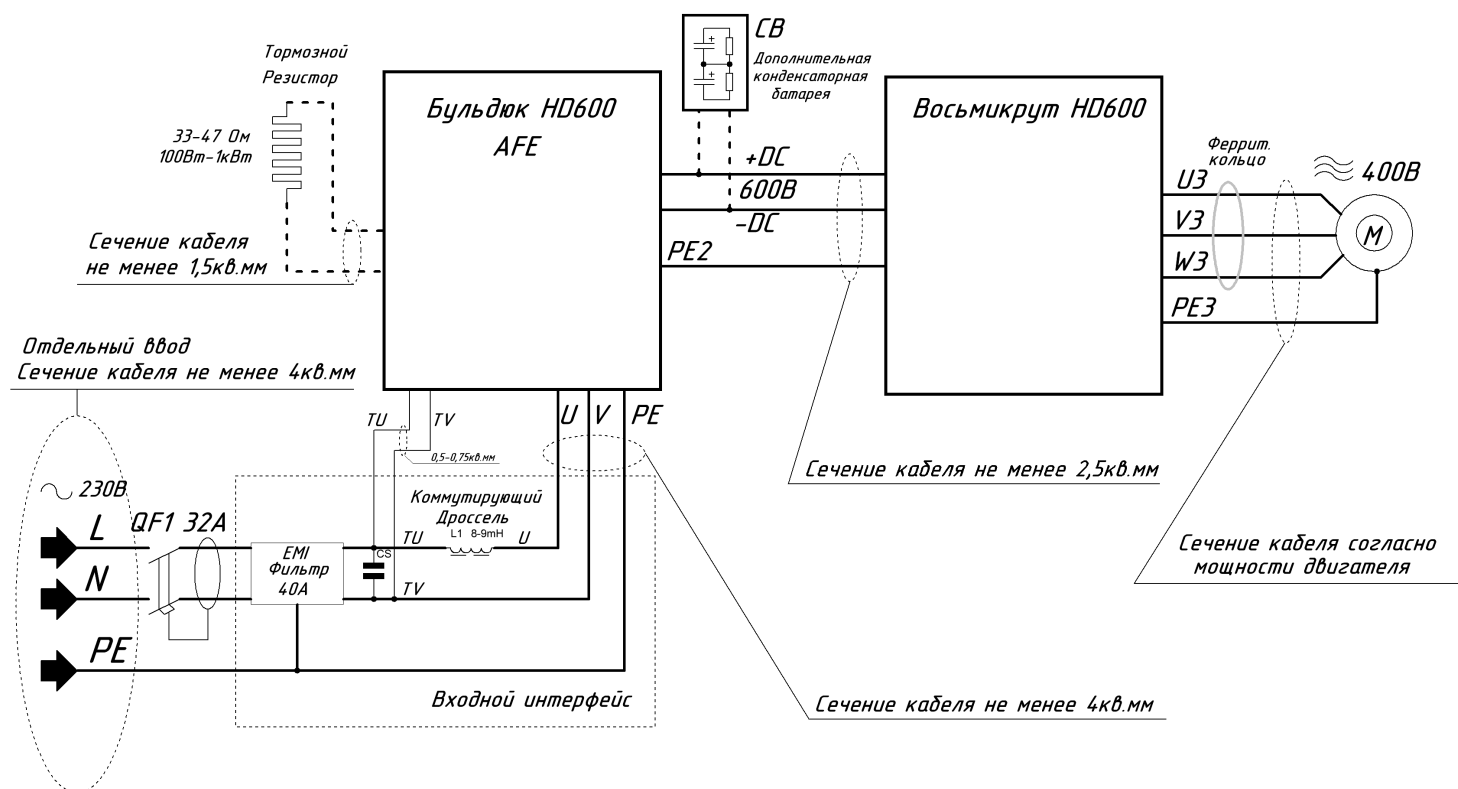


Рис 5. Подключение частотного преобразователя Восьмикрут HD600 через модуль Бульдюк HD600 AFE

Для обеспечения электробезопасности и электромагнитной совместимости проводник заземления PE должен подключаться согласно схеме последовательно –



сначала к модулю питания, затем жилой кабеля постоянного тока к частотному преобразователю (**PE2**) и от частотного преобразователя через кабель к корпусу двигателя (**PE3**). Так обеспечивается циркуляция емкостного тока утечек между двигателем и инвертором преобразователя частоты (а не через землю и питающую сеть). Снижению емкостных токов способствует пропускание выходных фазных проводов двигателя (кроме заземляющего) через **ферритовое кольцо**, а также применение **dU/dt** фильтров на железном сердечнике.

Работа приводов компрессоров может сопровождаться существенной **пульсацией момента** и как следствие пульсациями (провалами) напряжения DC-шины. Для поддержания уровня напряжения регулятор активного модуля будет неравномерно загружать сеть, работая импульсно. При этом ток может быстро меняться от почти нулевого до максимального вызывая срабатывание токовой защиты. В подобном случае рекомендуется увеличение ёмкости DC-шины установкой дополнительной конденсаторной батареи **СВ**.





<DC-AC> VOSMIKRUT – POWER



выполняется светодиодом **LED2**, а светодиод **LED1** указывает на срабатывание триггера максимальной токовой защиты.

Переключкой **JP5** выбирается, как будет происходить отдача энергии при торможении привода. Если переключки нет - рекуперация в сеть ограничена десятком Ватт и будет задействован тормозной резистор. Если переключка есть - будет происходить полная рекуперация в сеть, а тормозной резистор не используется.



1.4 Проверка платы управления

Данный пункт описывает начальную проверку изготовленной платы управления активным модулем питания **Бульдюк HD600 AFE** без наличия силовой части и без высокого напряжения. Для проверки драйверов используется тестовая прошивка **TEST HD600M.HEX**

Для проверки готовой платы необходимо:

- Источник питания 24В, >0,5А
- Укомплектованную плату и прошитый контроллер тестовой прошивкой
- Мультиметр
- Осциллограф (крайне желателен)
- Соединительные провода, кнопка управления, светодиод
- Батарейка на напряжение 4,5В
- Конденсатор 0,1мкФ для проверки драйверов на емкостной нагрузке
- Трансформатор *Trs* для контроля сигнала синхронизации (дополнительно)

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 кнопки управления и светодиодов к плате согласно применяемой схеме.

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

3. Проверка при первой подаче напряжения 24В на плату управления без контроллера. Измеряем напряжение питания + 5В на 14 ножке и при включении кнопки **SB3** напряжение высокого уровня на 4 ножке панельки контроллера – должно быть примерно 4,3В. При выключенной кнопке **SB3** напряжение на 4 ножке должно отсутствовать.

4. Установка контроллера с тестовой прошивкой и запуск генерации ШИМ кнопкой SB3. Произвести проверку выходных управляющих сигналов драйверов осциллографом. Форма управляющих импульсов: 1-2-6 ключи - генерация меандра 9,8кГц, 3-4 ключи - генерация меандра 50Гц. Мертвое время 2мкс. Также желательно выполнить **проверку драйверов на емкостную нагрузку**. Для этого нужно нагружать выходные пары на ёмкость 0,1мкФ и контролировать форму сигнала осциллографом.

5. Проверка работы схемы токовой защиты имитацией токового сигнала батарейкой. Кратковременно (при длительной подаче возможен чрезмерный нагрев резистора R33) подать напряжение батарейкой между выводами 1 и 2. Проверять сначала одной полярностью, затем другой. Должны пропадать импульсы управления и светиться “Сверхток”. Напряжение высокого уровня на 4 ножке контроллера падает и появляется снова только после перещёлкивания кнопки SB3.

6. Для проверки сигнала синхронизации необходимо подать переменное напряжение 50Гц 15В на Ти-Тв с трансформатора Trs, который включается в сеть 220В. На 17 ножке микроконтроллера должен наблюдаться сигнал:

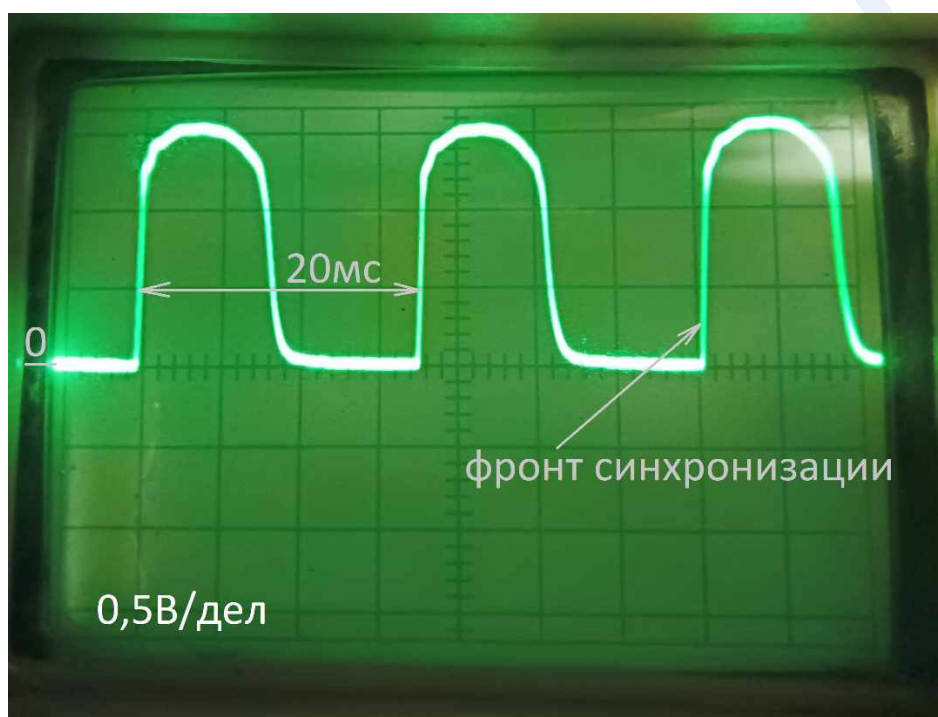


Рис 7. Аналоговая осциллограмма сигнала синхронизации

При нормальной отработке этих пунктов, если всё работает чётко, можно приступать к сборке и запуску с силовой частью, удалив установленные временные **перемычки для питания драйверов**.

Контроллер прошивается рабочей программой **8k-buldyuk HD600M.HEX**



1.5 Ввод в работу, настройка обратной связи

Для ввода в работу полностью собранной конструкции необходима настройка обратной связи резистором **R93** и измерение тока холостого хода дросселя. Вращать резистор соблюдая осторожность, заранее предусмотреть безопасный доступ к плате и резистору. Для измерения тока рекомендуется применять токовые клещи.

1. Подать сетевое питание, но кнопка **SB3** должна быть разомкнута. В таком случае произойдёт заряд конденсаторов DC-шины до ~310В, запустится БП **24В**, получит питание трансформатор **Trs**, а микроконтроллер будет находиться в состоянии сброса.
2. Измерить действующее напряжение в сети и разделить измеренное значение в вольтах на **76** (для $230В/76 = \sim 3В$). Полученное значение, но уже постоянного напряжения, нужно выставить, вращая **R93**, на **2** ножке микроконтроллера относительно минуса.
3. Включить активный модуль питания кнопкой **SB3**. После входа в рабочий режим, когда светодиод состояния светится постоянно, без нагрузки (двигатель не запускать) подстроить **R93** по минимуму тока холостого хода дросселя. Ток измерять клещами в проводе **V**. Крутить резистор **R93** в обе стороны и найти минимум тока.

После этого активный модуль питания Бульдюк HD600 AFE готов к работе под нагрузкой.



1.6 Список ошибок

Светодиод состояния **LED2** в нормальном режиме работы светится постоянно. При возникновении ошибок, кроме токовой отсечки, происходит отмаргивание несколько раз, в зависимости от того, что произошло.

Номер ошибки равен количеству миганий светодиода состояния:

F01 - просадка напряжения DC-шины в работе **ниже 480В**. Перегрузка, резкая импульсная нагрузка, индуктивность дросселя выше штатной, сбой предзаряда.

F02 - пониженное начальное напряжение DC-шины, **ниже 230В**. Проверить напряжение сети, проверить фазировку синхронизирующего трансформатора **Trs**.

F03 - перенапряжение DC-шины, **выше 700В**. Проверить сопротивление тормозного резистора. Увеличить время торможения.

F04 - пониженное напряжение сети, **ниже 155В**. Провал напряжения сети. Если возникает при приложении нагрузки, вероятно повышенное сопротивление линии питания (слабая сеть).

F05 - перенапряжение сети, **выше 255-260В**. Проверить напряжение сети. Если возникает при торможении рекуперацией в сеть вероятно повышенное сопротивление линии питания (слабая сеть). Увеличить время торможения или перейти на тормозной резистор.

F06 - нет синхронизации. Проверить подключение и исправность синхронизирующего трансформатора **Trs**.

F07 - частота инвертора или сети не в диапазоне штатной работы (**47,5Гц-52,5Гц**). Отклонения частоты сети, сильные искажения или помехи по каналу синхронизации.

F08 - превышено время предзаряда DC-шины, **более 5с**. Проверить сопротивление резистора плавного заряда, нагрузку DC-шины и ёмкость (от **1500** до **4000мкФ**).

В режиме **токовой отсечки** светится светодиод "сверхток". Светодиод состояния не светится. Токовая отсечка срабатывает при пике тока **~60А**, это действующее значение тока по сети около **40А**.

Возможные причины: резкая импульсная нагрузка при недостаточной ёмкости DC-шины, насыщение силового дросселя, провал напряжения сети, короткое замыкание в IGBT.

Сброс всех ошибок выполняется **перещёлкиванием кнопки SB3**.



<DC-AC> 2016-2026г.