

ЛЕКЦИЯ 7 КУРСА «СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА». Двадненко В.Я.

1. Функции и схемотехника драйверов.

Драйверы нужны для правильного и безопасного управления силовыми ключами. Ключи на биполярных транзисторах управляются током, поэтому управление ими более простое, и сводится к формированию нужных токов. Драйверы для MOSFET и IGBT транзисторов обычно более сложные, их называют еще драйверами затвора. Основной их задачей является заряд и разряд емкости затвора с нужной скоростью и с обязательным ограничением сверху и снизу напряжения затвора. Драйверы затвора рассмотрим на примере микросхемы MC33153 специально разработанной фирмой моторолла для MOSFET и IGBT транзисторов. Эта микросхема называется драйвером нижнего ключа, потому что выход драйвера связан с общим отрицательным проводом напряжений, питающих и драйвер, и нагрузку силового ключа.

Функции защиты драйвера включают в себя определение ненасыщенного ключа, перегрузки по току и обнаружение пониженного напряжения затвора. Эти драйверы поставляются в корпусе «дип» (для монтажа в отверстия) или в корпусе «соик» (для поверхностного монтажа). Кроме того драйвер включают в себя следующие возможности:

- Обеспечивает высокий выходной ток: 1,0 А на заряд и 2,0 А на разряд емкости затвора.
- Содержит возможность защиты как для обычных, так и чувствительных к перепадам тока транзисторов.
- Имеет регулируемые пороги срабатывания защиты.
- Имеет защиту от перегрузки по току короткого замыкания
- Имеет возможность заряда затвора отрицательным напряжением
- Имеет выход сигнала ошибки (срабатывания защиты).
- Экономически эффективно управление и биполярными транзисторами.
- Имеет вывод сигнального заземления (земля Кельвина).

На рис.1 приведена функциональная схема драйвера MC33153. Входное напряжение подается на 4-й вывод (4-й пин), который является входом триггера Шмитта. Обратите внимание, что входной сигнал должен быть инверсным (об этом говорит верхнее подчеркивание над символом входа $\overline{\text{Input}}$) Выход триггера Шмитта через логический элемент 3И соединен с выходными транзисторами драйвера. Обратите внимание, что выход триггера Шмитта инверсный (об этом говорит маленький кружочек на выходе). Выход микросхемы драйвера на выводе 5. Драйвер имеет отдельные биполярные транзисторы для заряда и разряда затвора. На 6-й вывод подается плюс напряжения питания драйвера, обычно это напряжение 13 – 18 В, на вывод 3 подается минус этого напряжения. Вывод 3 является также общим выводом для входа и выхода драйвера.

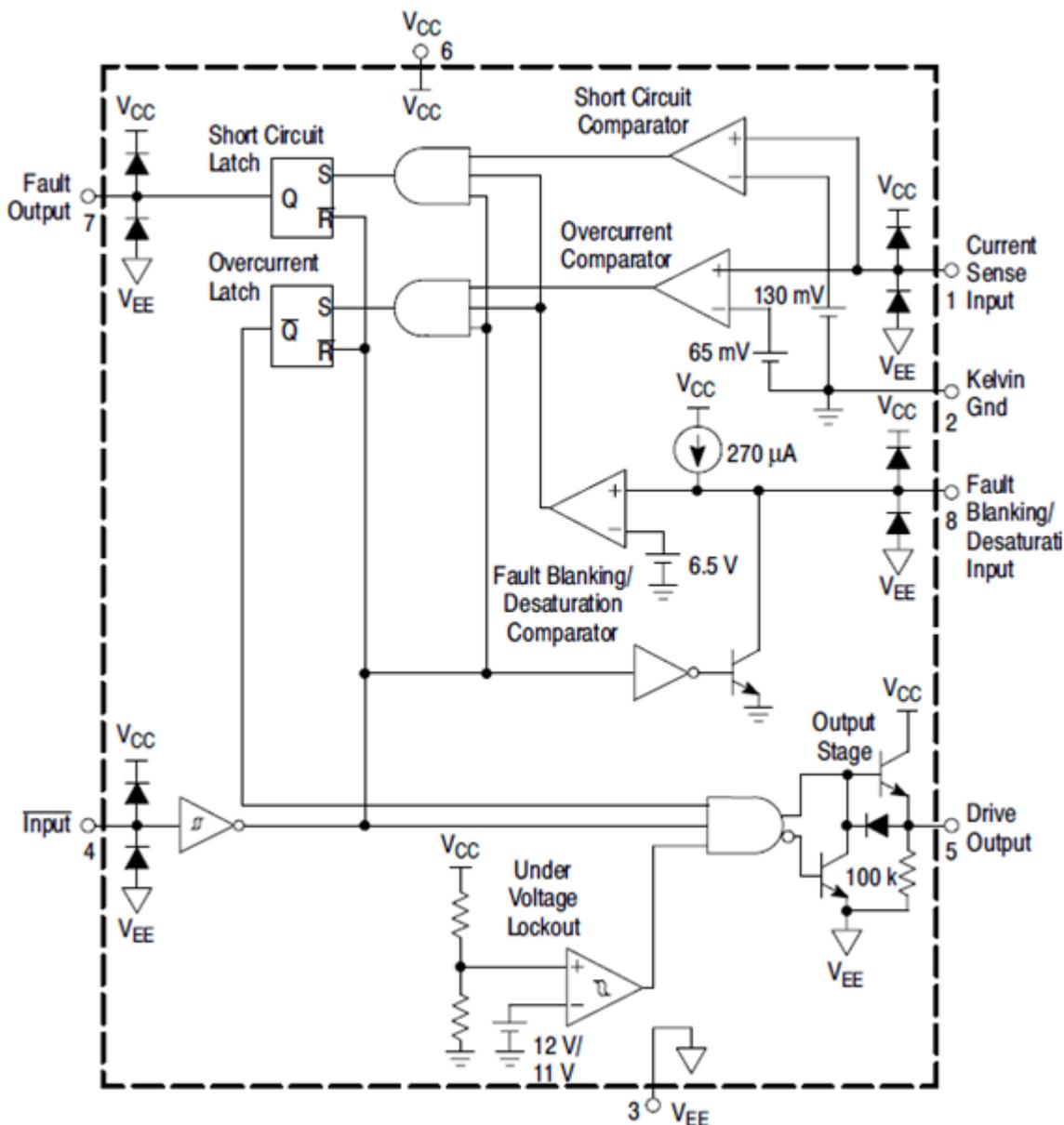


Рис.1. Функциональная схема драйвера MC33153

На рис.2 приведена схема включения драйвера MC33153 с использованием ограничения тока силового ключа и с защитой от тока короткого замыкания. Силовой ключ выполнен на IGBT транзисторе с выводом датчика тока, который через токоизмерительный резистор соединен с выводом Кельвина. Вывод Кельвина внутри транзистора соединен с выводом эмиттера. Вывод Кельвина транзистора соединен с «землей Кельвина» микросхемы драйвера (вывод 2 микросхемы), а вывод датчика тока транзистора через интегрирующую RC цепь соединен с «входом для датчика тока» микросхемы драйвера (вывод 1 микросхемы). Параметры RC цепи определяют время срабатывания защиты и RC цепь нужна еще для подавления помех. На схеме (рис.2) выход 5 микросхемы подключен к затвору IGBT транзистора через диодно-резистивную цепь, так, что ток заряда идет только через верхний резистор, а ток разряда и через верхний резистор, и через нижний резистор. Это позволяет ускорить время закрывания IGBT транзистора, тем самым уменьшая вредное влияние «хвоста», обусловленное временем рассасывания неосновных носителей биполярной части IGBT транзистора.

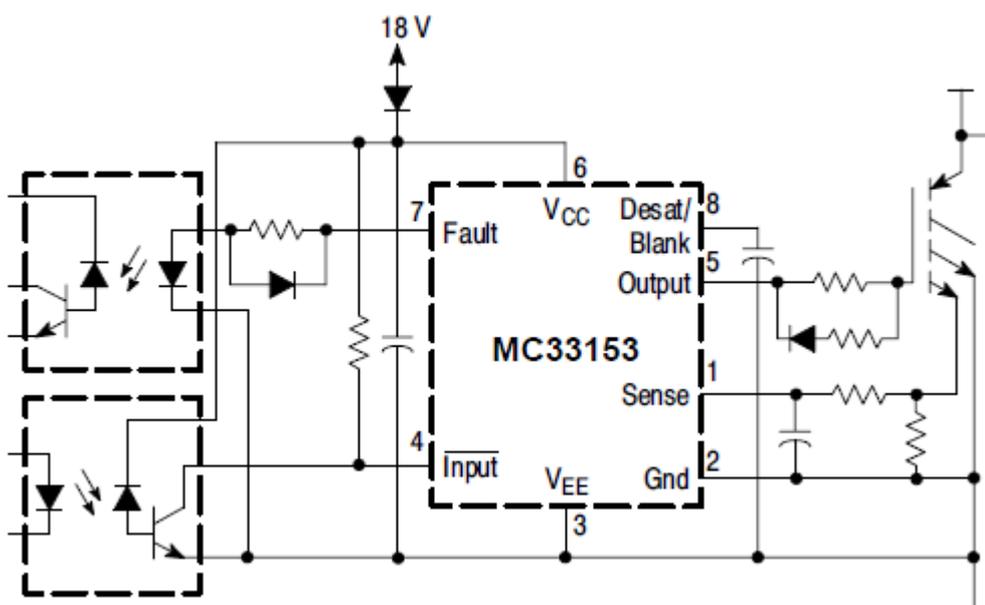


Рис.2 Схема включения драйвера с ограничением тока силового ключа и с защитой от тока короткого замыкания.

Теперь вернемся к схеме на рис.1. Разность потенциалов, поступающая на выводы 1 и 2 несет информацию о токе через силовой ключ. Земли Кельвина и в силовом ключе, и в драйвере введены для того, чтобы минимизировать влияние посторонних токов в измерительной цепи. Указанная разность потенциалов подается на неинвертирующие входы компараторов, причем инвертирующие входы этих компараторов имеют различные опорные напряжения: 65 мВ у нижнего компаратора и 130 мВ у верхнего. Выход верхнего компаратора через логический элемент 3И подключен к RS триггеру короткого замыкания, а выход нижнего компаратора через логический элемент 3И подключен к RS триггеру ограничения тока. RS триггер ограничения тока срабатывает если на токоизмерительном резисторе напряжение достигнет 65 мВ. Он укорачивает входные импульсы, ограничивая время нарастания тока в индуктивной нагрузке силового ключа и, тем самым, снижает среднее значение тока в нагрузке. Происходит это путем воздействия сигнала с инверсного выхода триггера (об этом говорит верхнее подчеркивание над символом выхода \overline{Q}) на один из входов логического элемента 3И, стоящего перед выходными транзисторами драйвера. Каждый новый импульс на входе, воздействуя на другой вход этого элемента 3И одновременно воздействует и на входы R (reset) RS триггеров, сбрасывая их. RS триггер короткого замыкания срабатывает только если на токоизмерительном резисторе напряжение достигнет 130 мВ, что происходит при быстром нарастании тока из-за резкого уменьшения индуктивности нагрузки. RS триггер короткого замыкания имеет выход на 7-м выводе микросхемы, сигнал с которого через оптронную развязку подается на микроконтроллер, формирующий входные импульсы. Микроконтроллер реагирует на сигнал ошибки и прекращает формировать входные импульсы. На схеме рис.2 также и вход микросхемы драйвера имеет гальваническую развязку от микроконтроллера, это важно для надежной работы микроконтроллера. Поскольку оптрон инвертирует сигнал, становится понятен смысл инверсного входа драйвера.

На рис.3 приведена схема включения драйвера MC33153 с предотвращением выхода силового ключа из насыщения. Для этого вход Desat (пин 8) подключен через резистор к аноду высоковольтного быстродействующего диода, катод которого

подключен к коллектору IGBT транзистора. При открытом IGBT транзисторе напряжение на входе Desat будет равно падению напряжения на силовом ключе плюс падение на прямосмещенном диоде и плюс падение напряжения на резисторе, через которые идет ток от источника тока внутри микросхемы. Диод в этой цепи нужен для отсечения высокого напряжения при запертом силовом ключе. Вернемся к рис.1.

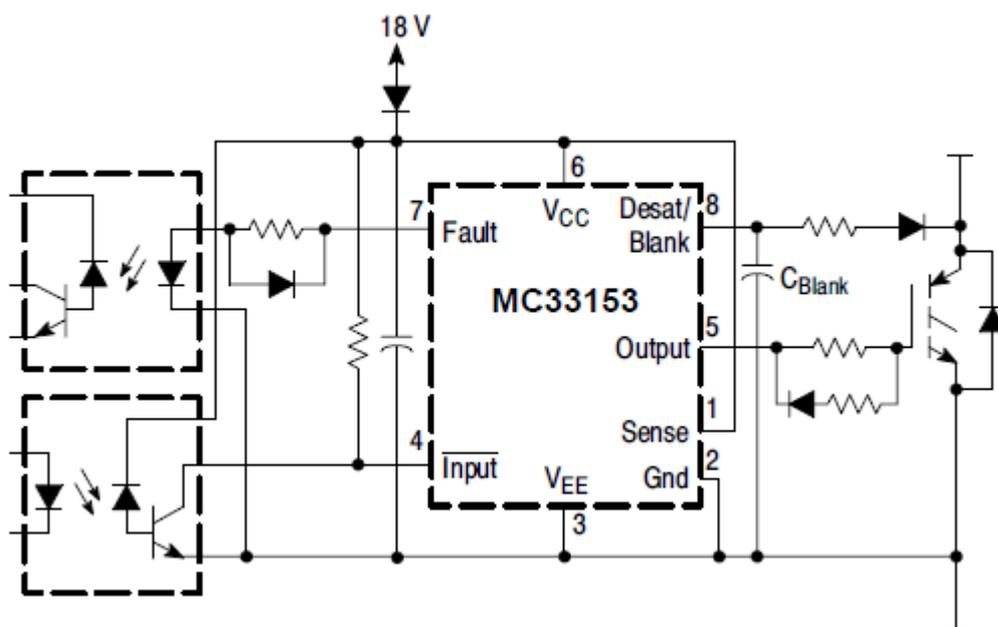


Рис.3. Схема включения драйвера MC33153 с предотвращением выхода силового ключа из насыщения

Вывод 8 является неинвертирующим входом третьего компаратора с опорным напряжением на инвертирующем входе 6,5 В. К этому входу подключен источник тока на 270 мкА и транзистор, закорачивающий этот вход на землю Кельвина, во время, когда заперт силовой ключ. Выход компаратора подключен к входу верхнего логического элемента 3И, выход которого вызывает срабатывание верхнего RS триггера (триггера ошибки, выключающего подачу входных импульсов на вход драйвера). Следует отметить, что драйвер может работать либо по схеме на рис.2, либо по схеме на рис.3, при этом неиспользуемые входы подключают к плюсу питания (рис.3) либо оставляют свободным (рис.2). Тогда логические элементы перед RS триггерами будут иметь правильные напряжения на неиспользуемых входах.

Нижний на схеме рис.1 компаратор предотвращает открывание силового ключа при слишком низком напряжении питания драйвера. Это нужно потому, что если низкое напряжение на затворе не полностью откроет силовой ключ, то на нем будет большое напряжение, он быстро перегреется и выйдет из строя. В этом режиме работа силового ключа недопустима.

2. Драйверы верхнего ключа.

В схеме, где нагрузка включена в цепь истока (или эмиттера для IGBT), затвор необходимо заряжать относительно точки с плавающим потенциалом (рис.4). В этом случае применяют драйверы верхнего ключа. Рассмотрим такой драйвер на примере микросхемы IR2117.

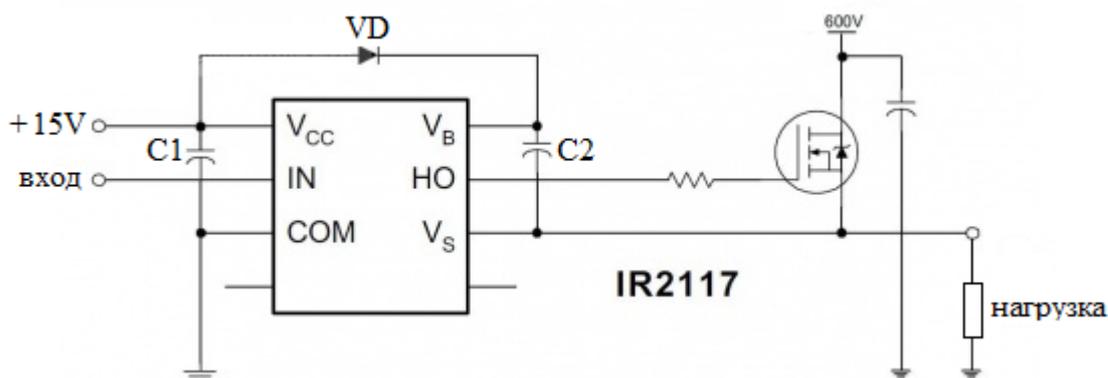


Рис.4 Схема, где нагрузка включена в цепь истока

Особенности микросхемы IR2117:

- Плавающий канал, предназначенный для работы в бустрепном режиме. Работает до + 600В
- Диапазон питания затвора от 10 до 20 В
- Блокировка от пониженного напряжения затвора
- КМОП-триггерные входы с управлением относительно общего минуса.
- Выход в фазе со входом

На рис.4 схема включения микросхемы, рассмотрим, как она работает. Такая схема называется схема с бустрепным питанием верхнего ключа. После включения питания 15В конденсатор C2 заряжается через диод VD и нагрузку. На вход подается периодический импульсный сигнал. С помощью драйвера от напряжения заряженного конденсатора C2 во время открытия силового ключа поддерживается

заряд затвора. Напряжение на $C2$ повышается, когда силовой ключ закрыт. Функциональная схема драйвера IR2117 приведена на рис.5. Из входного сигнала триггер Шмитта формирует импульсный сигнал с крутыми фронтами и срезом, который далее поступает на логический элемент 2ИЛИ-НЕ, на второй вход которого подается сигнал с детектора низкого напряжения питания драйвера (ДНН). Далее генератор импульсов формирует короткие импульсы, совпадающие с фронтами и срезами импульсов, поступающих на вход драйвера и выдает их на разные выходы, которые подают их на затворы двух высоковольтных полевых транзисторов.

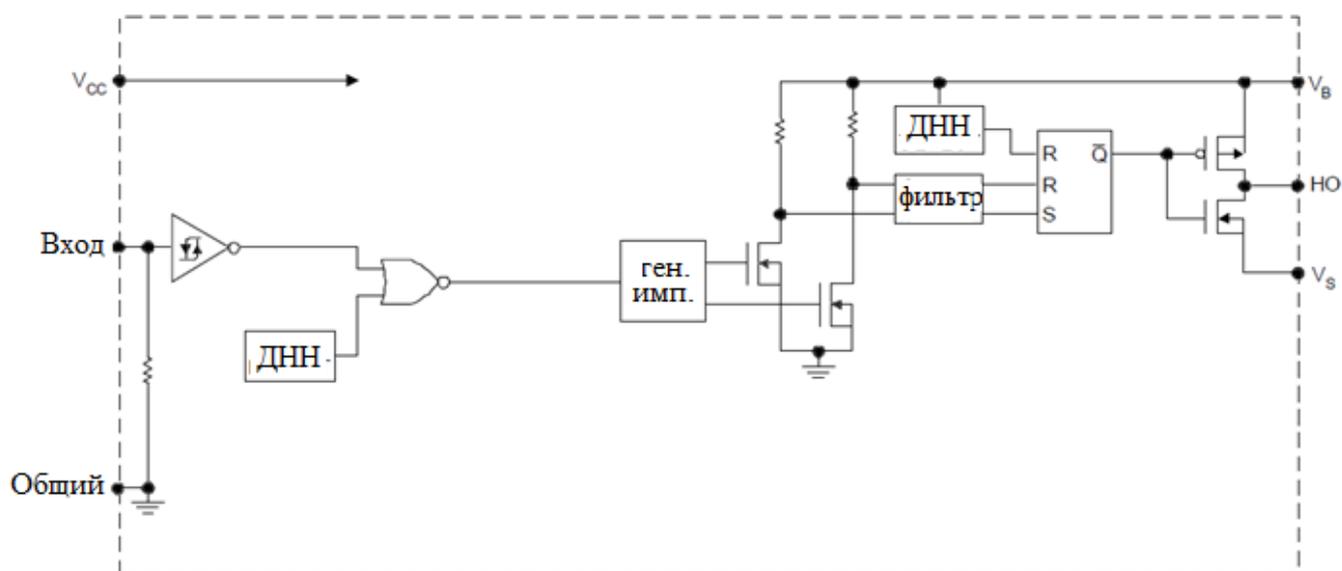


Рис.5. Функциональная схема драйвера IR2117

Эти транзисторы управляют RS триггером с выходным усилителем, питающимся от конденсатора $C2$. Триггер имеет второй вход сброса, на который подается сигнал со второго ДНН, контролирующего напряжение конденсатора $C2$.

3. Силовые выпрямители

Силовые импульсные устройства, работающие от сети обязательно содержат выпрямитель сетевого напряжения. Маломощные устройства (зарядные устройства телефонов, светодиодные лампы и др.) имеют простую схему, приведенную на рис.6. На входе диодного моста обычно включен резистор-предохранитель (фузистор). Он является защитой от короткого замыкания и сглаживает бросок тока при заряде конденсатора $C1$, включенного на выходе моста для сглаживания постоянного

напряжения. Напряжение на этом конденсаторе более 300В. Иногда бывает и резистор и предохранитель. Для более мощных импульсных блоков питания (блоки питания компьютеров, телевизоров, мощных светодиодных осветителей, однофазных сварочных инверторов и др.) используют схему приведенную на рис.7.

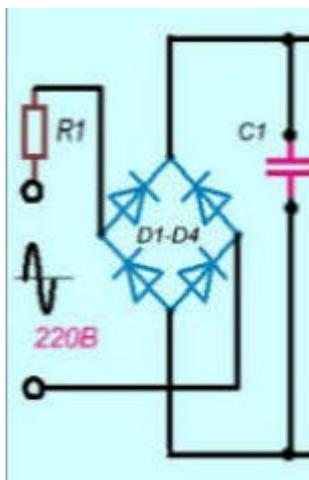


Рис.6 Выпрямитель сетевого напряжения маломощных импульсных устройств

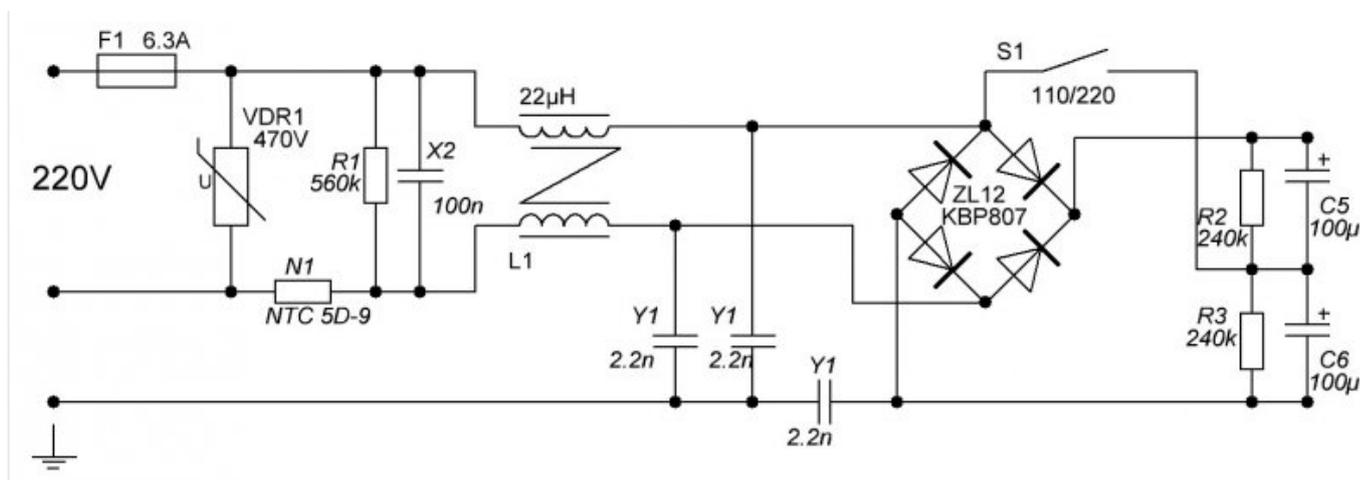


Рис.7 Выпрямитель сетевого напряжения импульсных устройств средней мощности.

В этой схеме используют следующие элементы: F1 предохранитель, VDR1 – варистор, (он защищает от высоковольтных импульсных перенапряжений), X2, Y1 специальные сетевые противомеховые конденсаторы, резистор R1 – для разряда X2, L1 – дифференциальная фильтрующая индуктивность, N1 – термистор с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления, для защиты от броска тока при заряде конденсаторов C5 и C6, ZL – диодный мост, S1 – переключатель входного напряжения 110/220В (переключает мостовую схему

выпрямителя на схему удвоения напряжения), резисторы R_3 , R_2 – выравнивают напряжение на C_5 и C_6 .

Наиболее мощные сетевые выпрямители обязательно питаются от трехфазной сети. Такие выпрямители применяют для питания зарядных устройств электромобилей, питания контактных сетей городского электротранспорта, мощного промышленного электропривода. На рис.8 приведена схема с шестью максимумами пульсаций постоянного напряжения за период сетевой частоты, а на рис.9 с 12 максимумами пульсаций постоянного напряжения за период сетевой частоты

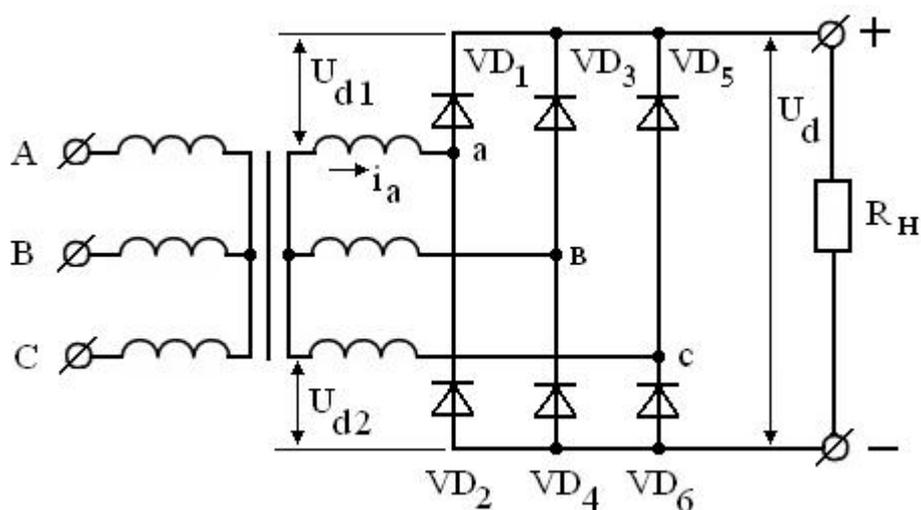


Рис.8 Шестипульсовый трехфазный выпрямитель сетевого напряжения.

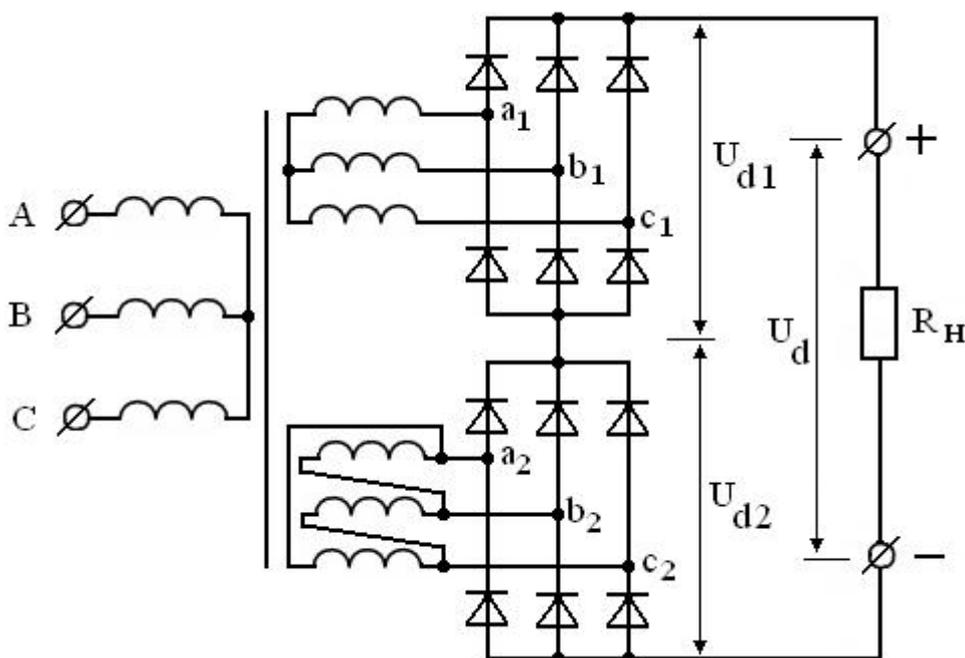


Рис.9 Двенадцатипульсный трехфазный выпрямитель сетевого напряжения с последовательным соединением мостов

Двенадцатипульсный трехфазный выпрямитель имеет два трехфазных моста, запитанных от одного трансформатора, но одна трехфазная вторичная обмотка имеет соединение звездой, а вторая треугольником и фазные обмотки звезды имеют в $\sqrt{3}$ раз меньше витков в каждой фазе. Удваивается число пульсаций за счет 30-ти градусного сдвига фаз напряжений звезды и треугольника. Переход от шести- к двенадцатипульсным схемам выпрямления улучшает энергетические показатели выпрямителей, позволяет повысить коэффициент мощности, улучшить форму кривой потребляемого тока, приблизив её к синусоиде. При этом процентный состав высших гармоник потребляемого тока снижается, а следовательно, снижаются потери активной мощности, вызванные этими гармониками. Внешняя характеристика у многопульсных выпрямителей оказывается более жесткой (меньше проседает напряжение под нагрузкой), что способствует стабилизации выпрямленного напряжения, например, в тяговой сети электрического транспорта.

Вместе с тем, если в двенадцатипульсном выпрямителе предусматривается параллельное соединение трехфазных мостов, то в этом случае для эффективного использования обмоток возникает необходимость использования уравнивающих реакторов (УР). Однако, применение УР ведет к увеличению суммарной установленной мощности трансформаторного оборудования (приблизительно на 7%), вызывает дополнительные потери активной мощности в самом УР от протекающих по нему токов и требует на изготовление УР дополнительного расхода электротехнических материалов, стоимость которых в настоящее время становится существенной. Учитывая это, для создания двенадцатипульсных выпрямителей широко используются последовательные схемы соединения мостов (рис.9)

Основной недостаток схем с последовательным соединением трехфазных мостов заключается в повышенных потерях активной мощности в вентилях по сравнению с параллельными схемами соединения.

Существуют схемы выпрямителей с регулируемым постоянным напряжением на тиристорах, пример такой схемы приведен на рис.10. Регулировка

осуществляется за счет фазового изменения длительности импульсов постоянного напряжения, за счет задержки момента открывания тиристоров. Недостатком таких схем является большая энергия высших гармоник. На схеме рис.10 для борьбы с ними включен реактор (дроссель) последовательно с нагрузкой.

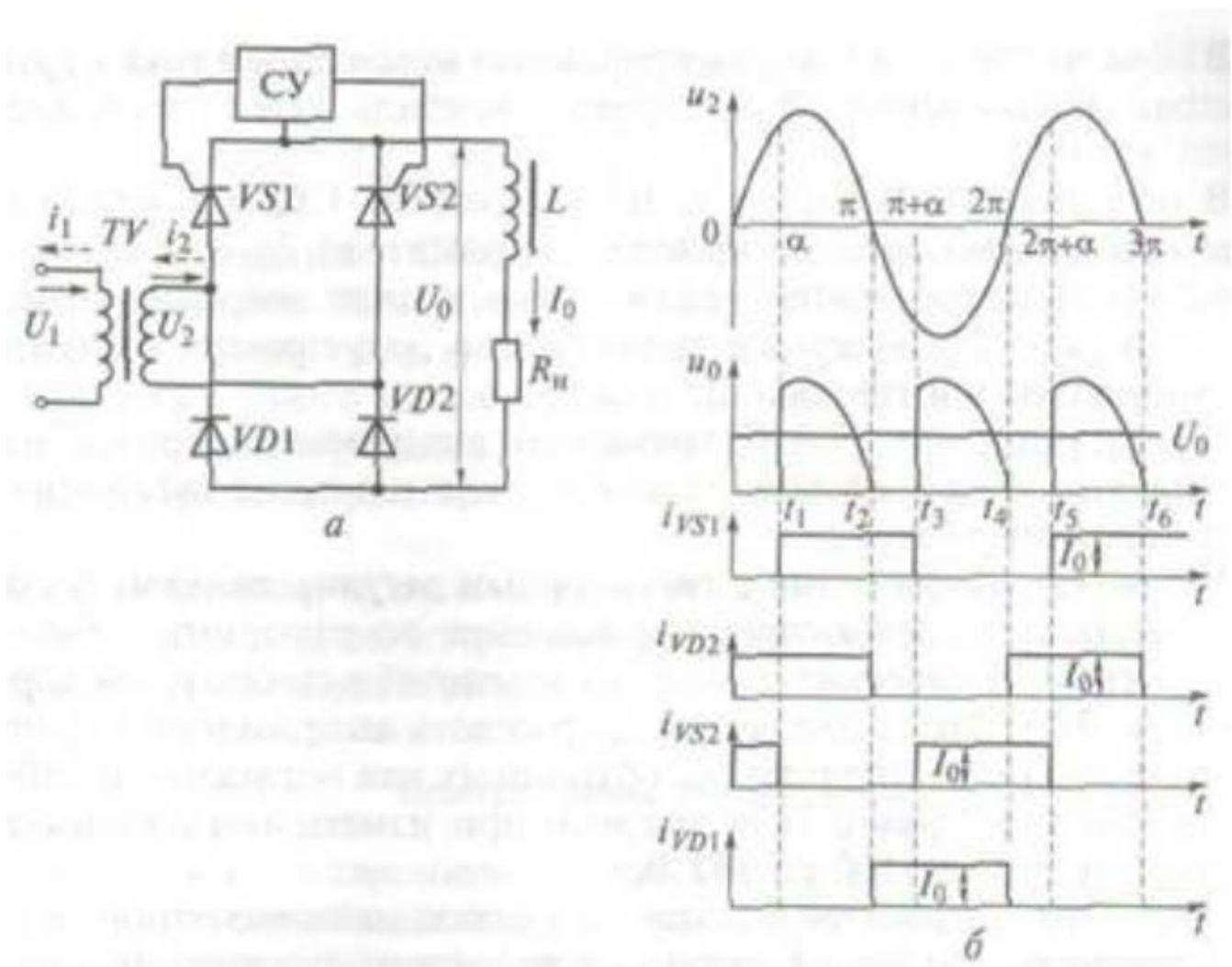


Рис. 10. Мостовая схема управляемого выпрямителя (а) и временные диаграммы напряжений и токов в этой схеме (б)

В настоящее время такие схемы вытесняются высокочастотными импульсными преобразователями, которые оказываются более эффективными и дешёвыми.