

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Самарский государственный университет путей сообщения» в г. Саратове

КУРС ЛЕКЦИЙ

По теме 1.7 «Электропривод и преобразователи подвижного состава»
МДК 01.01. Конструкция, техническое обслуживание и ремонт подвижного
состава; ПМ 01. Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного
состава (ЭПС)

По теме 1.7 «Электрические преобразователи тепловозов и дизель - поездов и
электропривод»

МДК 01.01. Конструкция, техническое обслуживание и ремонт подвижного
состава; ПМ 01. Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного
состава (тепловозы дизель-поезда).

Для специальности 23.02.06

ОДОБРЕНО

на заседании ЦМК

« Техническая эксплуатация подвижного
состава железных дорог»

Протокол № 2 от «07» сентября 2020 г.

Председатель

_____ / Бахарев С.А. /

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по УР

_____ /Т.В.Моисеева/

«09» сентября 2020 г.

ОДОБРЕНО

на заседании Методического Совета

Протокол № 1 от «09» сентября 2020 г.

Составитель (автор): Локтионов О. Б., преподаватель высшей категории филиала
СамГУПС в г. Саратове

Аннотация

Курс лекций для студентов по теме 1.7 «Электрические преобразователи тепловозов и дизель-поездов и электропривод» МДК 01.01, ПМ 01. Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава (тепловозы дизель-поезда) и по теме 1.7 «Электропривод и преобразователи подвижного состава» МДК 01.01, ПМ 01. Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава (электроподвижной состав) разработан на основании рабочей программы профессионального модуля ПМ01, которая является частью основной профессиональной образовательной программы – программы подготовки специалистов среднего звена в соответствии с ФГОС по специальности СПО 23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог

Во введении изложены сведения об истории развития электропривода. В разделе 1 представлены основные сведения об электроприводе и преобразователях, методах регулирования частоты вращения тяговых двигателей. Раздел 2 включает в себя сведения о неуправляемых и управляемых выпрямителях, принципах их работы, выпрямительных установках локомотивов. В разделах 3 и 4 описываются системы управления преобразователями, бесконтактные устройства. В разделе 5 описываются частотно-импульсные и широтно-импульсные регуляторы, принципах их работы. В разделе 6 представлены сведения об инверторах, выпрямительно-инверторных преобразователях, принципах их работы. В разделе 7 изложены сведения о техническом обслуживании и ремонте электронных преобразователей. В заключении описаны перспективы развития электропривода и электронных преобразователей на РЖД.

Актуальность курса состоит в систематизации книжных и электронных теоретических ресурсов в соответствии с новой рабочей программой.

Содержание.

Введение.....	6
1. Электропривод и преобразователи подвижного состава.....	9
1.1 Электропривод.....	9
1.2 Преобразователи.....	16
1.3 Амплистаты.....	26
1.4 Методы регулирования частоты вращения тяговых двигателей.....	34
1.5 Реостатное и рекуперативное торможение.....	39
2. Выпрямители.....	43
2.1 Неуправляемые выпрямители.....	43
2.2 Выпрямительные установки локомотивов.....	47
2.3 Сглаживающий реактор.....	55
2.4 Управляемые вентили.....	61
2.5 Управляемые выпрямители.....	66
3. Системы управления преобразователями.....	70
3.1 Основные элементы систем управления.....	70
3.2 Устройства формирования импульсов.....	71
4. Бесконтактные устройства.....	75
4.1 Бесконтактные выключатели и переключатели.....	75
5. Импульсные преобразователи.....	79
5.1 Одноканальные схемы ЧИР.....	79
5.2 Многоканальные схемы ЧИР.....	84
5.3 Широтно – импульсное регулирование.....	87
5.4 Принцип работы, схемные решения ШИР.....	90
5.5 Схемы ШИР при рекуперативном и реостатном торможении.....	95
6. Инверторы.....	100

6.1	Зависимые инверторы.....	100
6.2	Автономные инверторы.....	104
6.3	Принцип действия ВИП.....	110
6.4	Конструкции импульсных преобразователей.....	115
6.5	Преобразователи частоты и фаз.....	119
7.	Техническое обслуживание и ремонт электронных преобразователей.....	123
7.1	Уход в эксплуатации и основные неисправности.....	123
7.2	Ремонт установок.....	128
	Заключение.....	133
	Список литературы.....	136

Введение.

Первый электродвигатель постоянного тока, с помощью которого был осуществлен электропривод, обеспечивший движение катера вверх по р. Неве, был построен в 1834 — 1838 гг. петербургским академиком Б.С. Якоби.

Практически применимые двигатели постоянного тока широко демонстрировались на выставках в Вене (1873 г.), Париже (1881 г.), Мюнхене (1882 г.). К этому же времени относятся сведения о промышленном использовании электроприводов с такими двигателями, чему в значительной мере способствовало созданию в 80-е гг. электропередатчиков постоянного тока напряжением до 6000 В.

К первым применениям электропривода постоянного тока относятся электрическая железная дорога и ткацкий станок, демонстрировавшийся на промышленной выставке в Берлине (1879г.), первый электрический трамвай Ф.А. Пироцкого (1880 г.), электрические швейные машины и вентиляторы В.Н. Чиколева (1882-1886 гг.), артиллерийские механизмы на русских судах «Россия» и «Веста» (1887 г.). В 1890-1892 гг. появляются судовые электрические подъемники и рулевые механизмы, металлургические машины на ряде американских заводов, оборудованные электроприводами постоянного тока с полуавтоматическим управлением посредством контакторов, командоконтроллеров и т.п.

Условия для развития массового электропривода переменного тока создались лишь в конце XIX в. В 1879 г., совершенствуя опыт Ф.Араго с вращением магнитного поля, В. Бейли сделал устройство, в котором пространственное перемещение магнитного поля осуществлялось за счет поочередного намагничивания четырех электромагнитов, расположенных по периферии круга. Намагничивание проводилось импульсами постоянного тока специальным переключателем, рукоятка которого приводилась во вращение от руки. Устройство В. Бейли не нашло практического применения и осталось физическим прибором,

наглядно демонстрирующим превращение электрической энергии в механическую. Необходимо было устранить вращающийся переключатель и получить эффект магнитного поля при помощи переменных токов.

Ряд других ученых того времени (Бредли, Хазельвандер) показывали возможность получения трехфазных систем токов, но прорыв в этой области был сделан М.О. Доливо-Добровольским. Весной 1889 г. были испытаны сконструированные М.О. Доливо-Добровольским трехфазный асинхронный двигатель и трехфазный одноякорный преобразователь. В марте того же года М.О. Доливо-Добровольский от имени фирмы АЭГ, в которой он работал, подает в патентное ведомство заявку на трехфазную систему, по которой он получает лишь частичный патент на «якорь для двигателя переменного тока». В этом патенте описаны различные конструкции короткозамкнутых роторов в виде «беличьей клетки».

Ротор для уменьшения магнитного сопротивления изготавливался стальным, а в выполненные по периферии цилиндра отверстия закладывались медные стержни. На лобовых частях ротора эти стержни соединялись друг с другом. М.О. Доливо-Добровольским практически была разработана трехфазная система при соединении обмоток генератора и двигателя в звезду и в треугольник. Первый асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором развивал мощность 100 Вт. Вслед за ним был сделан двигатель на 3,7 кВт. В декабре 1890 г. М.О. Доливо-Добровольский подал заявку на изобретение асинхронного двигателя с фазным ротором. В 1890 г. он изобрел и трехфазный автотрансформатор, который использовал при пуске асинхронных двигателей. Фирма АЭГ стала изготавливать сравнительно крупные асинхронные двигатели. В 1893 г. на Международной выставке в Чикаго демонстрировался двигатель мощностью 40 кВт при напряжении 110 В и скорости вращения 725 об/мин. М.О. Доливо-Добровольским

разработал много различных конструкций трехфазных асинхронных двигателей. Среди них были двигатели с кольцевой, а затем с барабанной обмотками на статоре, с двойной «беличьей клеткой» на роторе и др.

Еще в довоенное время проводились работы, связанные с заменой электромашинного преобразовательного агрегата системы генератор - двигатель статическим. Первая версия электропривода с преобразователем на тиратронах разработана в ВЭИ в 1935 г. Первой установкой, в которой двигатель постоянного тока питался от ртутного выпрямителя - прообраз широко распространенных сейчас регулируемых электроприводов по системе статический преобразователь - двигатель, была шахтная подъемная машина, разработанная ВЭИ, ЛПИ и ХЭМЗ и запущенная в эксплуатацию в 1940 г.

К середине 50-х гг. сформировалась теория и практика «дополупроводникового» электропривода. В эти годы в США созданы основы современной теории электромеханического преобразования энергии на основе обобщенной машины, получившие впоследствии широкое использование в практике разработки управляемого электропривода.

РевOLUTIONизирующее влияние на развитие электропривода оказали разработка и производство полупроводниковых приборов. Радикальное воздействие на электропривод оказал тиристор - мощный полууправляемый ключ, созданный в 1955 г. усилиями Дж. Молла, М. Танненбаума, Дж. Голдея и Н. Голоньяка (США). Появление тиристорov на тысячи вольт и большие токи при малых падениях напряжения в проводящем состоянии позволило полностью перейти на управляемые тиристорные выпрямители как в цепях возбуждения, так и в силовых цепях электроприводов постоянного тока.

1. Электропривод и преобразователи подвижного состава.

1.1 Электропривод.

Электрический привод представляет собой электромеханическую систему, обеспечивающую реализацию различных технологических и производственных процессов в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте, в быту с использованием механической энергии. Назначение электрического привода состоит в обеспечении движения исполнительных органов рабочих машин и механизмов и управлении этим движением. Происходит постоянное развитие и совершенствование современного электропривода. В первую очередь это относится ко всё более широкому внедрению автоматизированных электроприводов с использованием разнообразных полупроводниковых силовых преобразователей и микропроцессорных средств управления.

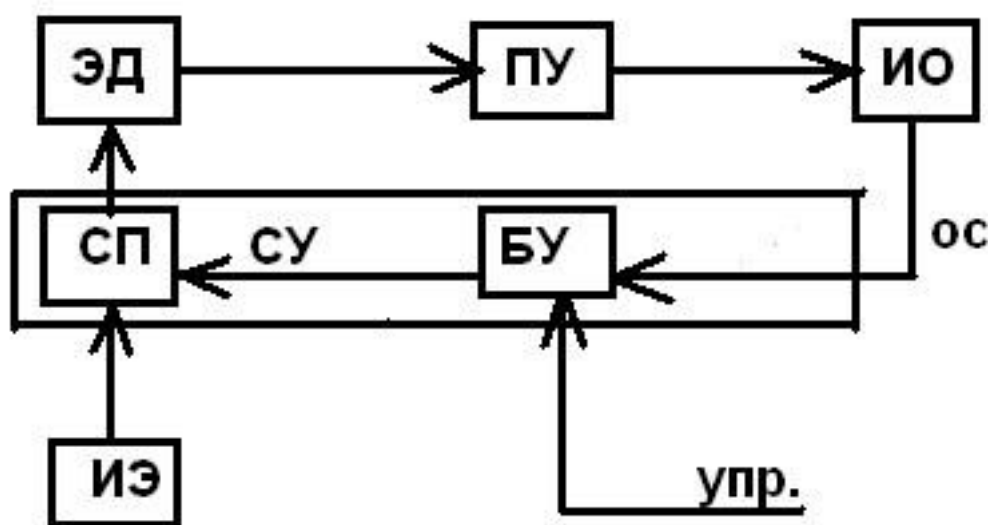


Рис.1.1 Структурная схема.

ЭД электродвигатель; ПУ передаточное устройство; ИО исполнительный орган; СП силовой преобразователь; БУ блок управления; СУ система управления; ИЭ источник энергии; ОС обратная связь; УПР управление.

Основным элементом электропривода служит электродвигатель (Рис.1.1), который вырабатывает механическую энергию за счёт электрической. От

электродвигателя механическая энергия через передаточное устройство (механическое, гидравлическое, электромагнитное) подаётся на исполнительный орган рабочей машины, за счёт чего, тот совершает требуемое механическое движение. Функция передаточного устройства заключается в согласовании параметров движения электродвигателя и исполнительного органа. Прогрессивным направлением развития электропривода является использование непосредственного соединения электродвигателя с исполнительным органом., что позволяет повысить технико-экономические показатели комплекса «электропривод-рабочая машина».

Электрическая энергия поступает в электропривод от источника электроэнергии. Для получения электроэнергии с требуемыми параметрами и управления потоком этой энергии, между двигателем и источником электроэнергии включается силовой преобразователь.

Функции управления и автоматизации в электроприводе осуществляется маломощным блоком управления. Этот блок задаёт характер движения исполнительного органа , дает информацию о технологическом процессе и т.д. Преобразователь с блоком управления образуют систему управления электроприводом.

Электрическим приводом называется электромеханическая система, состоящая из взаимодействующих электрических электромеханических и механических преобразователей, а так же управляющих, информационных устройств и устройств сопряжения, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочих машин и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса.

Реализация электропривода может быть разнообразной. Электроприводы различаются

1) По характеру движения. Электроприводы могут быть вращательного и поступательного движения, их скорость может быть регулируемая и нерегулируемая, а само движение непрерывным или дискретным, однонаправленным или реверсивным.

2) По числу двигателей различают групповые (один двигатель приводит в движение несколько исполнительных органов), индивидуальные и взаимосвязанные (несколько взаимосвязанных двигателей приводят в движение один или несколько исполнительных органов).

3) По виду электрического силового преобразователя. Управляемые и неуправляемые выпрямители, инверторы (преобразование, обратное выпрямителю), Преобразователи частоты и напряжения переменного тока, импульсные преобразователи напряжения постоянного тока.

Виды электрических передач.

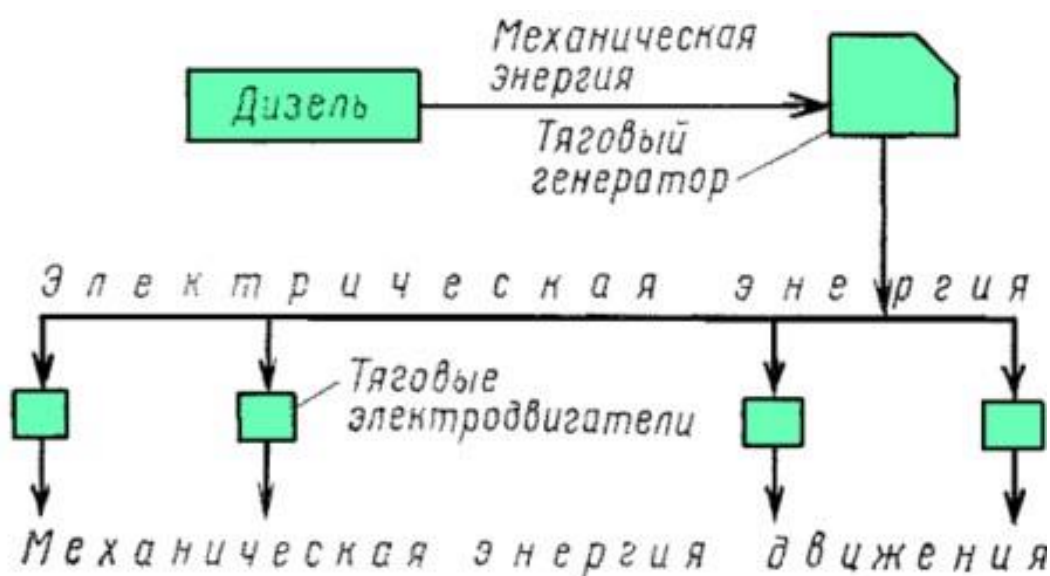


Рис. 1.2 Преобразование энергии.

Структурная схема (Рис. 1.2) электрической передачи тепловоза показывает преобразование энергии. Вал дизеля вращает непосредственно связанный с ним якорь тягового генератора, в котором механическая энергия преобразуется в электрическую. Постоянный ток, вырабатываемый генератором, по кабелям

передается к тяговым электродвигателям. Вращательное движение якоря каждого тягового электродвигателя передается колесной паре с помощью зубчатых колес, сидящих на валу якоря и оси колесной пары. Это устройство называют осевым, редуктором. Электрическая передача, при которой нет непосредственной связи вала дизеля с колесными парами, в отличие от жесткой механической передачи позволяет получить лучшую зависимость силы тяги тепловоза от скорости его движения при постоянном вращающем моменте на валу дизеля. Это упрощает и облегчает управление тепловозом. Несколькими тепловозами с электрической передачей, сцепленными друг с другом для получения большой мощности, можно управлять из одной кабины машиниста.

Электрическая передача имеет и недостатки. Она очень тяжела. Для автоматизации работы электрических машин требуется большое количество реле и других аппаратов. На изготовление генератора, тяговых электродвигателей и других машин и аппаратов требуется много цветных металлов. Это сильно удорожает стоимость тепловоза.

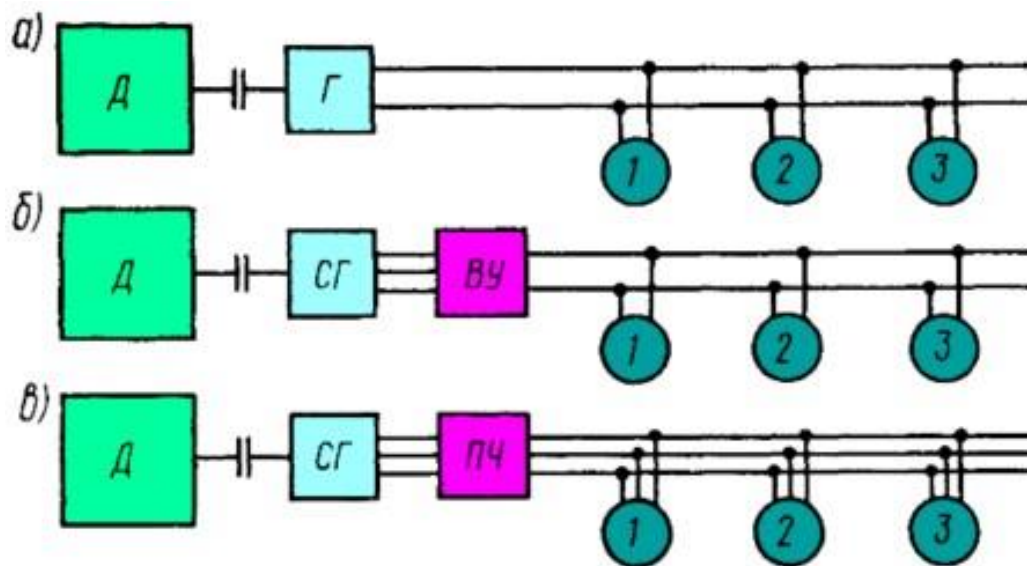


Рис. 1.3 Структурные схемы электрической передачи:
а - на постоянном; б - на переменном-постоянном; в - на переменном-переменном токе.

Г - тяговый генератор постоянного тока; СГ - синхронный тяговый генератор переменного тока; ВУ - выпрямительная установка; ПЧ - преобразователь частоты переменного тока; 1-3 - тяговые электродвигатели.

Наиболее широкое распространение на отечественных тепловозах получила электрическая передача постоянного тока (Рис.1.3), в которой используются тяговые электрические машины только постоянного тока. На тепловозах большой мощности применяют электрическую передачу переменного-постоянного тока. В передаче такого типа используются синхронный тяговый генератор переменного тока и тяговые электродвигатели постоянного тока. Двигатели постоянного тока позволяют наиболее просто получить оптимальную тяговую характеристику тепловоза. Вырабатываемый синхронным тяговым генератором переменный ток выпрямляется, т. е. преобразуется в постоянный ток с помощью специальной выпрямительной установки. Стремление упростить конструкцию привело к созданию для тепловозов передачи переменного-переменного тока. В такой передаче применяются и тяговый генератор, и тяговые электродвигатели переменного тока.

Приводы локомотивов.

1 Опорно-осевой привод.

1.1. Безредукторный привод с цельным двигателем на оси.

Такой привод были использованы в 1890 году для двигателей электровоза Лондонского метро. Габариты двигателей получались очень большими из-за низкой скорости вращения. Недостатком являлась большая неподрессоренная масса, что вызывало высокое воздействие на путь и усиление вибраций от поездов, действующих на сооружения вблизи путей метро. Более удачными были непосредственные приводы первых американских магистральных электровозов. В 1893 году фирма Дженерал Электрик построила промышленные локомотивы с непосредственным приводом.

1.2. Привода с раздельным якорем и остовом. Стремление снизить неподрессоренную массу, и одновременно сохранить низкое расположение центра тяжести локомотива, привела конструктора "Дженерал Электрик" А. Батчелдера к

идее разделить тяговый двигатель, и разместить якорь двигателя непосредственно на движущей оси, а полюсы поставить на рамных креплениях. При этом колесная пара перемещалась вертикально, вдоль полюсов. Локомотивы с таким приводом были построены для линии Нью-Йорк Централ в 1904 году.

1.3. Первые опорно-осевые приводы классической схемы. Трехточечное подвешивание тягового двигателя с зубчатой тяговой передачей было изобретено Франком Спрагом, и в 1887 году было впервые применено на трамваях. Привод был близок к современному. Важно, что привод был оснащен пружинной подвеской, которая амортизировала удары при прохождении неровностей пути и не передавала их на раму.

2. Опорно-рамный привод.

Первым опорно-рамным приводом, вероятно, является привод построенного в 1880 году в нашей стране, в Петербурге, трамвая Федора Пироцкого, у которого, как писали "динамо-электрическая машина подвешена к вагону снизу", и имелась зубчатая тяговая передача.

2.1. Опорно-рамный привод с передачей гибким звеном. Привод с клиноременной передачей был применен в 1881 году на трамвае Сименса. Клиноременная передача имела низкий к.п.д., малую долговечность и надежность.

2.2. Параллельно-кривошипный привод. В таком приводе тяговый двигатель располагался на раме локомотива и был соединен с колесами кривошипным приводом, чаще всего без промежуточного редуктора. В СССР такой привод нашел применение только в 30-е годы на опытных маневровых тепловозах.

2.3. Безредукторный опорно-рамный привод с полым якорем.

К одному из первых приводов такого типа следует отнести, в частности, привод построенного в 1897 году Хайльманном паровоза с электрической передачей. Двигатели были с полым валом, через который проходила ось колесной пары.

Привод представлял собой шайбу с тремя поводками на одном из концов этого вала. Каждый поводок упирался в спицы колеса через пару пружин.

1.2 Преобразователи.

Виды электрических преобразователей.

1. Выпрямление переменного тока — преобразование переменного тока (обычно промышленной частоты) в постоянный ток. Этот вид преобразования получил наибольшее развитие, так как часть потребителей электрической энергии может работать только на постоянном токе, другие же потребители имеют на постоянном токе лучшие характеристики, чем на переменном токе (регулируемые электродвигатели). В тяговом электроприводе на электроподвижном составе (электровозах и мотор-вагонов электропоездов), получающим питание от контактной сети однофазного тока, применяются мощные однофазные выпрямители мощностью от нескольких сотен киловатт до нескольких мегаватт. В системах регулирования тока обмотки возбуждения тяговых генераторов тепловозов 2ТЭ116, ТЭП70 и ТЭМ7 нашли широкое распространение управляемые выпрямители однофазного напряжения, построенные на управляемых полупроводниковых приборах – тиристорах.

2. Инвертирование тока — преобразование постоянного тока в переменный. Инвертор применяется в тех случаях, когда источник энергии генерирует постоянный ток (электромашинные генераторы постоянного тока, аккумуляторные батареи и другие химические источники тока, солнечные батареи, магнетогидродинамические генераторы и т.д.), а для потребителей нужна энергия переменного тока. Преобразователь с тиристорами может работать в выпрямительном и инверторном режимах. При выпрямительном режиме электрическая мощность передаётся из цепи переменного тока в цепь постоянного тока. При инверторном режиме, наоборот, мощность передаётся из цепи

постоянного тока в цепь переменного тока. На железных дорогах используются два вида инверторов.

А) Автономные инверторы для построения электрической передачи мощности локомотивов с приводов переменного тока.

Б) Неавтономные (или ведомые) инверторы для преобразования энергии при рекуперативном торможении электровоза или при реостатных испытаниях тепловоза.

3 Преобразование частот — преобразование переменного тока одной частоты (обычно 50 Гц) в переменный ток другой частоты. Такое преобразование необходимо для питания регулируемых электроприводов переменного тока, установок индукционного нагрева и плавки металлов, ультразвуковых устройств и т. д.

4 Преобразование числа фаз. В ряде случаев встречается необходимость в преобразовании трехфазного тока в однофазный (например, для питания дуговых электропечей) или, наоборот, однофазного в трехфазный. Так, на электрифицированном транспорте используется контактная сеть однофазного переменного тока, а на электровозах используются вспомогательные машины трехфазного тока. В промышленности используются трехфазно-однофазные преобразователи частоты с непосредственной связью, в которых наряду с преобразованием промышленной частоты в более низкую происходит и преобразование трехфазного напряжения в однофазное.

5 Делители напряжения. Делители напряжения используются для деления входного напряжения (например при реостатно – контакторном управлении двигателем постоянного тока).

Преобразование постоянного тока одного напряжения в постоянный ток другого напряжения (преобразование постоянного напряжения). Подобное преобразование необходимо, например, на ряде подвижных объектов, где источником электроэнергии является аккумуляторная батарея или другой источник постоянного тока низкого напряжения, а для питания потребителей требуется более высокое постоянное напряжение (например, источники питания радиотехнической или электронной аппаратуры).

Существуют и некоторые другие виды преобразования электрической энергии (например, формирование определенной кривой переменного напряжения), в частности, формирование мощных импульсов тока, которые находят применение в специальных установках, регулируемое преобразование переменного напряжения. Все виды преобразований осуществляют с использованием силовых ключевых элементов.

Основные типы полупроводниковых ключей — диоды, силовые биполярные транзисторы, тиристоры, запираемые тиристоры, транзисторы с полевым управлением.

Преобразователи на тиристорах принято делить на две группы: ведомые и автономные.

В первых периодический переход тока с одного вентиля на другой (коммутация тока) осуществляется под действием переменного напряжения какого-либо внешнего источника. Если таким источником является сеть переменного тока, говорят о преобразователе, ведомом сетью. К таким преобразователям относятся: выпрямители, ведомые сетью (зависимые) инверторы, непосредственные преобразователи частоты, преобразователи числа фаз, преобразователи переменного напряжения. Если внешним источником напряжения, обеспечивающим коммутацию, является машина переменного тока

(например, синхронный генератор или двигатель), преобразователь называют ведомым машиной.

Автономные преобразователи выполняют функции преобразования формы или регулирования напряжения (тока) путем изменения состояния управляемых силовых ключевых элементов под действием сигналов управления. К автономным преобразователям относятся импульсные регуляторы постоянного и переменного напряжения, некоторые виды инверторов напряжения.

Традиционно силовые вентильные преобразователи использовались для получения выпрямленного напряжения промышленных сетей частотой 50 Гц и для получения переменного напряжения (однофазного или трехфазного) при питании от источника постоянного напряжения. Для этих преобразователей (выпрямителей и инверторов) используют диоды и тиристоры, коммутируемые с частотой сети. Форма выходного напряжения и тока определяется линейной частью схемы и фазовой модуляцией угла регулирования.

Выпрямление и инвертирование продолжают оставаться ведущим способом преобразования электрической энергии, однако способы преобразования претерпели значительные изменения и их разновидности стали гораздо многочисленнее.

Появление новых типов силовых полупроводниковых вентилей, близких к идеальному управляемому ключевому элементу, существенно изменило подход к построению вентильных преобразователей. Получившие распространение в последние годы запираемые тиристоры (GTO — gate turn off thyristor) и биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ — IGBT — insulated gate bipolar transistor) успешно перекрывают диапазон мощностей до сотен и тысяч киловатт, их динамические свойства непрерывно совершенствуются, а стоимость с ростом выпуска снижается. Поэтому они успешно вытеснили обычные тиристоры

с узлами принудительной коммутации. Области применения импульсных преобразователей напряжения с новыми классами приборов также расширились. Быстро развиваются мощные импульсные регуляторы как для повышения, так и для понижения постоянного напряжения питания; импульсные преобразователи часто используются в системах утилизации энергии возобновляемых источников (ветер, солнечная радиация).

Большие вложения делаются в производство энергии с использованием энергосберегающих технологий, когда возобновляемые первичные источники используются либо для возврата энергии в сеть, либо для подзарядки накопителя (аккумулятора) в установках с повышенной надежностью энергоснабжения. Появляются новые классы преобразователей для электроприводов с вентильно-индукторными двигателями (SRD — switched reluctance drive). Эти преобразователи представляют собой многоканальные (число каналов обычно от трех до восьми) коммутаторы, обеспечивающие поочередно подключение обмоток статора двигателя с регулируемой частотой и напряжением. Импульсные преобразователи получают широкое распространение в источниках питания бытовой аппаратуры, зарядных устройствах, сварочных агрегатах и целом ряде новых применений (пускорегулирующие устройства осветительных установок, электрофильтры и пр.).

Помимо совершенствования элементной базы силовых преобразовательных цепей на стратегию решения схемотехнических задач оказало огромное влияние развитие микроконтроллерных устройств и цифровых методов обработки информации.

Статические и динамические преобразователи.

Преобразователи можно разделить на статические и динамические. Динамические преобразователи это электромашинные преобразователи. Статические – полупроводниковые и трансформаторные преобразователи.

Динамические электромашинные преобразователи это системы «мотор – генератор» и одноякорные машинные преобразователи. К ним относятся фазорасщепители, преобразователи постоянного тока в переменный и переменного в постоянный, электромашинные преобразователи частоты и т. п. В динамических преобразователях всегда присутствует вращение (движение).

К трансформаторным преобразователям относятся, собственно трансформаторы, амплистаты и др.

К полупроводниковым преобразователям относятся неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители, частотно – импульсные преобразователи, широтно – импульсные преобразователи, выпрямительно – инверторные преобразователи, тиристорные преобразователи частоты, числа фаз и другие.

В настоящее время электромашинные и трансформаторные преобразователи, всё чаще, заменяются статическими полупроводниковыми преобразователями.

Преимущества полупроводниковых преобразователей.

- отсутствие подвижных частей,
- бесшумность,
- долговечность (до 50 лет при правильной эксплуатации),
- пожаробезопасность,
- большие пределы управления,
- простота в обслуживании,

- относительно простая и дешёвая технология замены полупроводниковых приборов,
- относительно небольшие масса и габариты.

Недостатки полупроводниковых преобразователей.

- сложность схем управления,
- отсутствие необходимой отечественной элементной базы,
- отсутствие гальванической развязки между управляющей и силовой цепями,
- отсутствие современных отечественных разработок.

Делители напряжения.

Делитель напряжения позволяет получить меньшее напряжение из большего, напряжение может быть как постоянным, так и переменным.

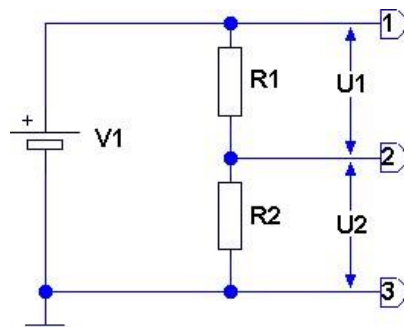


Рис. 1.4 Схема простейшего делителя напряжения.

Простейшая схема делителя (Рис. 1.4) напряжения содержит минимум два сопротивления. Если величины сопротивлений одинаковы, то согласно закону Ома, на выходе делителя будет получено напряжение, в два раза меньшее, чем на входе, так как падение напряжений на резисторах будет одинаковым. Для других случаев величина падения напряжений на резисторах делителя определяется по формулам

$$U_{R1} = I \cdot R1; U_{R2} = I \cdot R2 \quad (1),$$

где U_{R1} , U_{R2} - падения напряжения на резисторах $R1$ и $R2$ соответственно, I - ток в цепи.

В схемах делителей выходное напряжение обычно снимают с нижнего по схеме резистора.

Сумма падений напряжений U_{R1} , U_{R2} на резисторах равна напряжению источника питания. Ток в цепи будет равен напряжению источника питания, делённому на сумму сопротивлений резисторов $R1$ и $R2$:

$$I = U_{\text{пит}} / (R1 + R2) \quad (2)$$

Рассмотрим практическую схему делителя постоянного напряжения (Рис. 1.5).

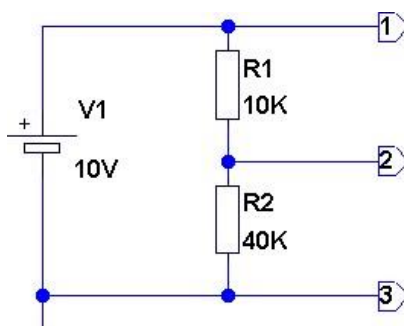


Рис. 1.5 Практическая схема резистивного делителя.

Ток, протекающий в этой схеме, согласно формуле будет равен

$$I = 10 / (10000 + 40000) = 0,0002 \text{ A} = 0,2 \text{ mA}.$$

Тогда согласно формуле падение напряжения на резисторах делителя напряжения будет равно:

$$U_{R1} = 0,0002 \cdot 10000 = 2 \text{ V};$$

$$U_{R2} = 0,0002 \cdot 40000 = 8 \text{ V}.$$

В вышеприведённой схеме (Рис. 1.5) делителя напряжения были использованы активные элементы - резисторы, и питание схемы осуществлялось постоянным напряжением (хотя схему можно питать и переменным током). Делитель напряжения может содержать так же и реактивные компоненты (конденсаторы, катушки индуктивности), но в этом случае для нормальной работы потребуется питание синусоидальным током.

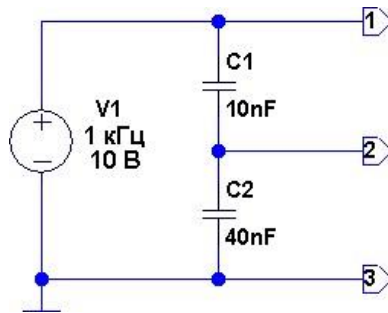


Рис. 1.6 Ёмкостный делитель напряжения в цепи переменного тока.

Ёмкостный делитель напряжения (Рис. 1.6) работает аналогично резистивному делителю, но рассчитывается несколько иначе, поскольку реактивное сопротивление конденсаторов обратно пропорционально их ёмкости:

$$R_c = 1 / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C) \quad (3),$$

где R_c - реактивное сопротивление конденсатора;

π - число Пи = 3,14159...;

f - частота синусоидального напряжения, Гц;

C - ёмкость конденсатора, Фарад.

То есть чем больше ёмкость конденсатора, тем меньше его сопротивление, и следовательно в схеме делителя напряжения на конденсаторе с большей ёмкостью падение напряжения будет меньше, чем на конденсаторе с меньшей ёмкостью. Следовательно, для ёмкостного делителя напряжения:

$$U_{C1} = U_{\text{пит}} \cdot C_2 / (C_1 + C_2) \quad (4)$$

$$U_{C1} = 10 \cdot 40 \cdot 10^{-9} / (10 \cdot 10^{-9} + 40 \cdot 10^{-9}) = 8 \text{ В},$$

$$U_{C2} = 10 \cdot 10 \cdot 10^{-9} / (10 \cdot 10^{-9} + 40 \cdot 10^{-9}) = 2 \text{ В}.$$

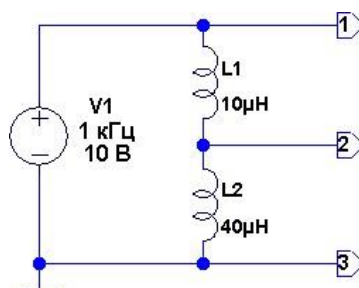


Рис. 1.7 Индуктивный делитель напряжения в цепи переменного тока.

Индуктивный делитель (Рис. 1.7) напряжения, так же как и ёмкостный требует для своей работы синусоидальное питающее напряжение.

Поскольку реактивное сопротивление катушки индуктивности в цепи переменного тока пропорционально номиналу катушки:

$$R_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (5),$$

где R_L - реактивное сопротивление катушки индуктивности;

π - число Пи = 3,14159...;

f - частота синусоидального напряжения, Гц;

L - индуктивность катушки, Генри.

Формула для расчёта индуктивного делителя напряжения будет точно такой же, как и формула для расчёта резистивного делителя напряжения, где вместо сопротивлений будут использоваться индуктивности:

$$UL1 = U_{\text{пит}} \cdot L1 / (L1 + L2) \quad (6)$$

Подставив в эту формулу параметры элементов из рисунка, получим:

$$UL1 = 10 \cdot 10 \cdot 10^{-6} / (10 \cdot 10^{-6} + 40 \cdot 10^{-6}) = 2 \text{ В},$$

$$UL2 = 10 \cdot 40 \cdot 10^{-6} / (10 \cdot 10^{-6} + 40 \cdot 10^{-6}) = 8 \text{ В}.$$

Отметим, что во всех расчётах величина нагрузки была принята равной бесконечности, поэтому полученные значения верны при работе рассмотренных делителей на сопротивление нагрузки, во много раз большее, чем величина собственных сопротивлений.

1.3 Амплистаты.

Автоматическое управление электрической передачей включает:

- 1 Поддержание режимов работы машин и агрегатов
- 2 Поддержание или изменение по заданным законам каких-либо физических величин, характеризующих режим работы (включение и выключение машин, реверсирование и торможение)
- 3 Осуществление определённой последовательности операций
- 4 Защиту от недопустимых режимов работы
- 5 Контроль состояния физических величин и режимов работы

Автоматическое регулирование это способ управления, когда необходимые операции выполняет сама система без участия человека в соответствии с заданными условиями.

Системой автоматического регулирования (САР) называют совокупность объекта регулирования и автоматических управляющих устройств.

По принципу регулирования САР делятся на

- 1 Системы регулирования по возмущающему воздействию
- 2 По отклонению управляемой величины.

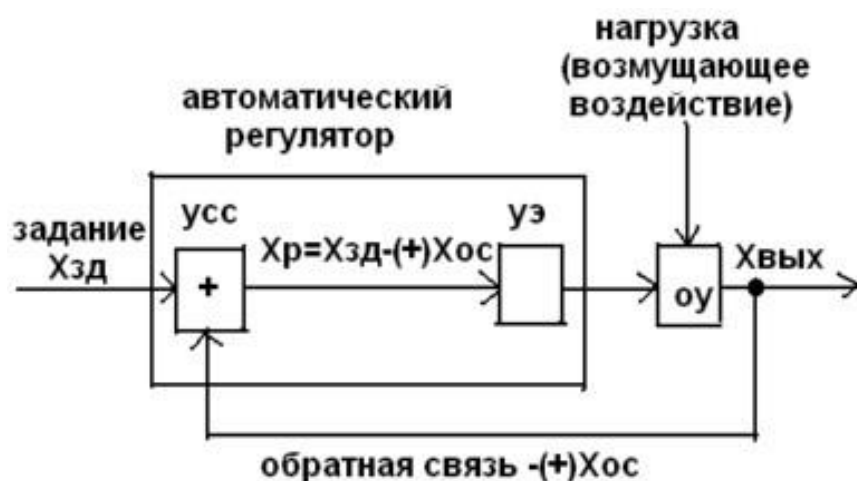


Рис. 1.8 Структурная схема САР по отклонению управляемой величины.
УЭ – управляющее устройство, УСС – узел суммирования сигналов, ОУ – объект управления (генератор), $X_{вых}$ – выходная (управляемая) величина, X_r – рассогласование.

Регулирование по отклонению управляемой величины.

Такие САР всегда имеют обратные связи – цепи, по которым на автоматический регулятор передаётся информация о состоянии параметров объекта в любой момент времени (Рис. 1.8).

САР по отклонению управляемой величины являются:

- управление частотой вращения коленчатого вала дизеля при помощи регулятора частоты вращения,
- управление частотой вращения коленчатого вала дизеля и нагрузкой при помощи объединённого регулятора частоты вращения и мощности
- управление пусковым током и максимальным напряжением тягового генератора при помощи регулятора напряжения.

Регулирование по возмущаемому воздействию.

Особенностью таких САР является воздействие на управляемую величину, кроме основного возмущающего воздействия, ещё других факторов, искажающих управляемую величину. Здесь отсутствует обратная связь, и САР является разомкнутой. Достоинствами такой САР является быстроедействие и динамическая устойчивость.

Объединив две системы в одну, получим комбинированную САР, имеющую высокую точность и быстроедействие. Такие САР применяются в современных тепловозах для управления тяговым генератором по току нагрузки.

Магнитные усилители.

Магнитные усилители (Рис. 1.9) широко применяются на отечественных тепловозах в системах регулирования мощности дизель - генераторов и в других устройствах автоматики. Работа магнитных усилителей основана на использовании законов прохождения переменного тока в электрических цепях и физических

свойств ферромагнитных материалов. Магнитный усилитель имеет сердечник, на который надеты катушки обмоток.

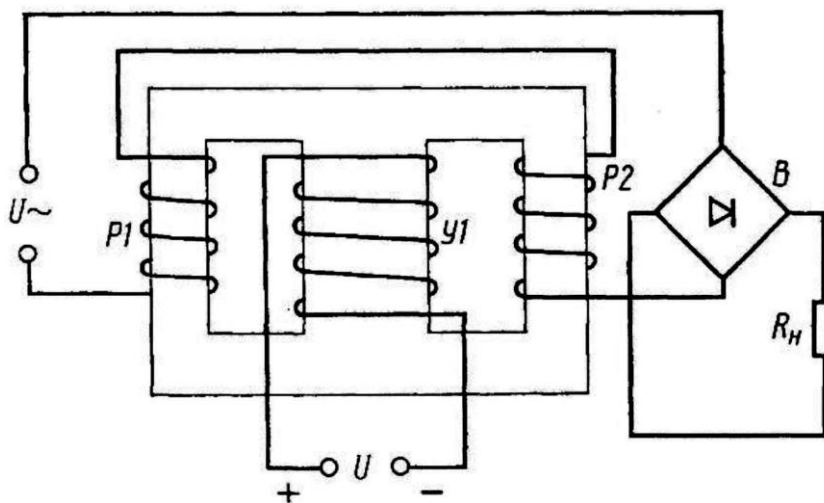


Рис. 1.9 Схема магнитного усилителя.

Сердечник изготавливают из электротехнической стали или других ферромагнитных материалов, например из пермаллоя. Катушки P1 и P2 рабочей обмотки усилителя включены в цепь переменного тока. В обмотку управления Y1 подводится постоянный ток. Рабочая обмотка магнитного усилителя представляет собой индуктивное сопротивление. При наступлении магнитного насыщения материала сердечника практически прекращается изменение магнитной индукции, как бы ни увеличивали мы магнитодвижущую силу за счет повышения величины тока в обмотке. Явление магнитного насыщения ферромагнитных материалов использовано в магнитном усилителе.

Вследствие большого индуктивного сопротивления рабочей обмотки при отсутствии тока в обмотке управления сила тока в цепи рабочей обмотки будет весьма невелика. Если по обмотке управления пропустить постоянный ток и довести сердечник до магнитного насыщения, то переменный ток рабочих обмоток уже не будет создавать дополнительного изменяющегося магнитного потока. Индуктивное сопротивление рабочих обмоток резко снизится, и в соответствии с законом Ома ток, протекающий по этим обмоткам, значительно увеличится. При

постепенном увеличении тока в обмотке управления также постепенно снижается переменный магнитный поток, создаваемый рабочими обмотками, и нарастает ток в цепи этих обмоток.

В магнитных усилителях устанавливаются две катушки P1 и P2 рабочей обмотки. Ими создаются согласные по направлению магнитные потоки, замыкающиеся во внешнем кольце магнитопровода усилителя. В среднем стержне с обмоткой управления магнитные потоки рабочих обмоток имеют противоположное направление, взаимокompенсируются и не индуцируют э. д. с. в обмотке управления. Появление трансформаторной э. д. с. в управляющей обмотке могло бы привести к нарушению работы цепей управления.

Обмотка управления потребляет небольшую мощность. Благодаря этому с помощью небольшого тока, затрачивая незначительную мощность, можно регулировать в широких пределах достаточно большую по величине мощность нагрузки. Отсюда такие аппараты получили свое наименование усилителей.

Отношение тока нагрузки к току в обмотке управления называют коэффициентом усиления магнитного усилителя по току, а отношение мощностей нагрузки и управления — коэффициентом усиления по мощности. Коэффициенты усиления обычных магнитных усилителей обычно лежат в пределах от 50 до 200. Увеличения коэффициентов усиления магнитных усилителей достигают применением обратной связи.

Магнитные усилители, используемые в электрических схемах тепловозов для регулирования мощности тяговых генераторов, имеют внутреннюю положительную обратную связь. Они получили название амплистатов. Слово амплистат состоит из двух частей: ампли — происходит от латинского слова *amplificatio* — усиление (увеличение) и стат — от греческого слова *statos* — стоящий (неподвижный). Коэффициент усиления по мощности магнитных

усилителей с обратной связью (Рис. 1.10) очень велик. У тепловозных амплистатов он составляет около 50 000. При наличии обратной связи даже в случае отсутствия тока в обмотке управления магнитный усилитель подмагничивается рабочими обмотками, и ток нагрузки достигает значительной величины. Если теперь пропускать ток по обмотке управления в том направлении, при котором создаваемый ею магнитный поток будет усиливать намагничивающее действие рабочих обмоток, то выходной ток усилителя возрастет.

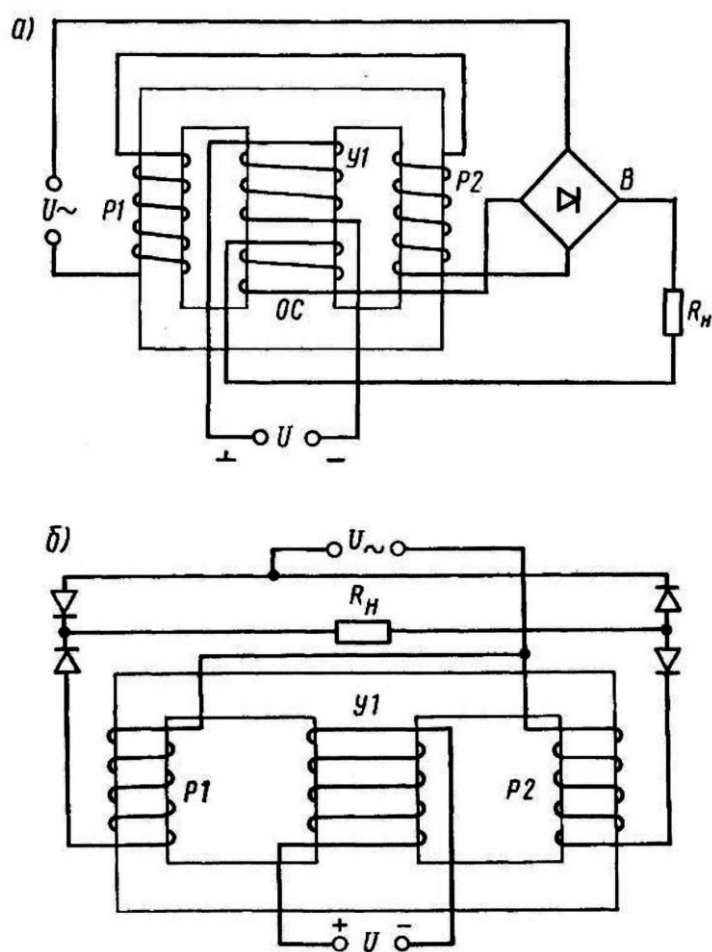


Рис. 1.10 Схемы магнитных усилителей с обратными связями:
а) внешней; б) внутренней.

В магнитных усилителях часто применяется несколько обмоток управления. При этом ток нагрузки усилителя могут независимо регулировать ряд различных автоматических устройств.

Применяются трехфазные магнитные усилители, состоящие как бы из трех однофазных усилителей. Трехфазные магнитные усилители использованы в электросхемах тепловозов ТЭ10 для регулирования тока в обмотке независимого возбуждения тягового генератора. На тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В и ТЭП60 однофазные амплистаты применены в качестве основного аппарата управления мощностью тягового генератора (Рис. 1.11).

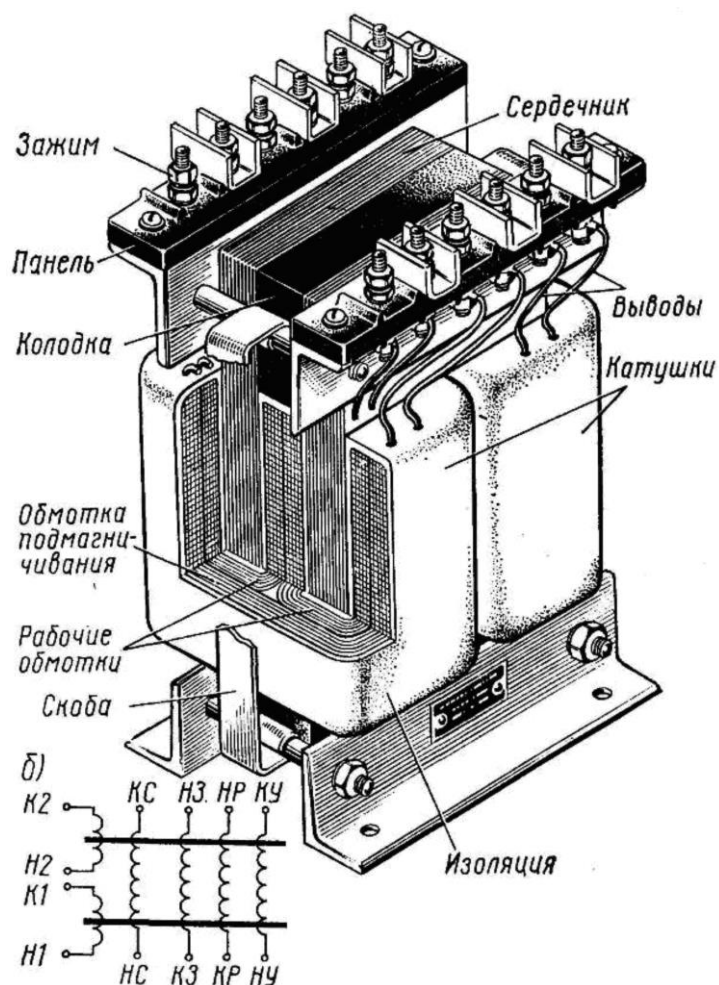


Рис. 1.11 Амплистат возбуждения тепловоза 2ТЭ10Л
а) общий вид; б) электрическая схема

Амплистат выполнен с двумя магнитными сердечниками (магнитопроводами). Обмотки подмагничивания питаются постоянным током от источников.

- задающая обмотка НЗ — КЗ — от бесконтактного тахометрического блока или тахогенератора;

- управляющая обмотка НУ — КУ—от распределительного трансформатора через трансформаторы постоянного тока и напряжения;
- регулировочная обмотка НР — КР — от распределительного трансформатора через индуктивный датчик объединенного регулятора и выпрямитель;
- стабилизирующая обмотка НС — КС — от стабилизирующего трансформатора через выпрямитель.

При этом задающая обмотка создает основную положительную магнитодвижущую силу подмагничивания- Регулировочная обмотка усиливает подмагничивание амплистата. Магнитодвижущая сила управляющей обмотки направлена встречно магнитодвижущей силе задающей и регулировочной обмоток, поэтому управляющая обмотка размагничивает амплистат. Стабилизирующая обмотка получает питание только при переходных процессах возбудителя для сглаживания этих процессов и повышения устойчивости работы схемы.

Следовательно, рабочие обмотки амплистата являются регулируемым индуктивным сопротивлением в цепи возбуждения возбудителя. Величина сопротивления изменяется в результате совместного действия четырех обмоток управления. Чем больше ток в задающей и регулировочной обмотках (ток уставки), тем значительнее выходной ток амплистата и выше» напряжение возбудителя и тягового генератора. С увеличением тока в управляющей обмотке вследствие ее размагничивающего действия уменьшается выходной ток амплистата, соответственно снижается напряжение возбудителя и тягового генератора.

При работе дизеля с заданной частотой вращения коленчатого вала напряжение тахометрического блока сохраняется постоянным, поэтому остается постоянной и магнитодвижущая сила задающей обмотки. С увеличением частоты вращения вала дизеля по позициям контроллера пропорционально повышаются

выходное напряжение тахометрического блока, ток в задающей обмотке амплистата, ток возбуждения возбудителя, его напряжение и напряжение тягового генератора. Схема питания управляющей обмотки обеспечивает регулирование тока в ней в зависимости от силы тока и напряжения тягового генератора с целью получения его селективной характеристики.

Ток в регулировочной обмотке амплистата изменяется с помощью индуктивного датчика объединенного регулятора частоты вращения и мощности дизеля таким образом, чтобы мощность тягового генератора сохранялась постоянной на гиперболическом участке его внешней характеристики. Следовательно, магнитный поток регулировочной обмотки корректирует суммарное подмагничивание сердечника амплистата, преобразуя линейный участок селективной характеристики тягового генератора и гиперболический.

1.4 Методы регулирования частоты вращения тяговых двигателей.

Принципы регулирования частоты вращения в двигательных и тормозных режимах находят свою практическую реализацию в четырех основных методах управления:

- 1) реостатно-контакторное управление;
- 2) управление по системе «генератор — двигатель»;
- 3) управление по системе «управляемый выпрямитель — двигатель»;
- 4) импульсное управление.

Реостатно-контакторное управление.

Широко применяется для регулирования частоты вращения двигателей малой и средней мощностей, а иногда и для регулирования мощных двигателей (на железнодорожном транспорте).

При реостатно-контакторном управлении используют два метода регулирования:

- 1) при частотах вращения, меньших номинальной, в цепь якоря включают реостат;
- 2) при повышенных частотах вращения регулируют ток возбуждения.

Машины малой мощности при отсутствии автоматизированного управления имеют два регулировочных реостата с ручным приводом, один из которых включен в цепь якоря, а другой — в цепь возбуждения. При больших мощностях, а также при необходимости автоматизации процесса, значения их сопротивлений изменяют ступенчато с помощью контакторов. Если требуется точное регулирование, то число контакторов должно быть очень большим, при этом вся установка становится громоздкой, дорогой и малонадежной.

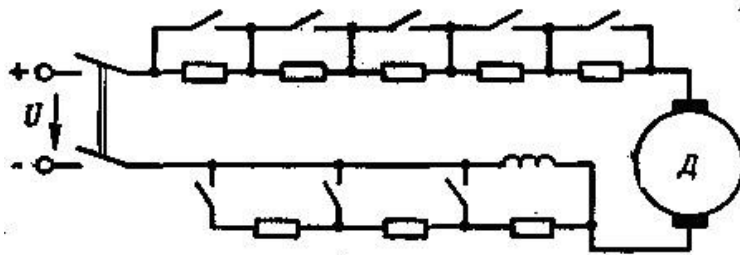


Рис. 1.12 Схема реостатно-контакторного регулирования двигателя с последовательным возбуждением.

В двигателях с параллельным возбуждением реостатно-контакторное управление (Рис. 1.12) позволяет в зоне высоких частот вращения осуществлять рекуперативное торможение. В связи со сложностью автоматизации и большими расходами, идущими на ремонт и эксплуатацию, реостатно-контакторное управление постепенно заменяют более совершенными методами.

Управление «генератор—двигатель».

При этом методе двигатель Д получает питание от преобразовательной установки, состоящей из генератора Г с независимым возбуждением, который приводят во вращение от какого-либо первичного двигателя ПД — электродвигателя, дизеля и пр.

Регулирование частоты вращения осуществляют путем изменения:

- 1) напряжения, подаваемого на обмотку якоря двигателя путем изменения тока возбуждения генератора;
- 2) магнитного потока двигателя путем регулирования тока возбуждения двигателя.

Пуск двигателя и получение низких частот вращения происходят при максимальном токе возбуждения двигателя, но при уменьшенном токе возбуждения генератора, т. е. при пониженном напряжении. После того, как исчерпана возможность повышения напряжения, осуществляют регулирование

тока возбуждения, уменьшая магнитный поток двигателя. Направление вращения двигателя изменяют путем изменения полярности подводимого к якору напряжения, для чего изменяют направление тока в обмотке возбуждения генератора (Рис. 1.13).

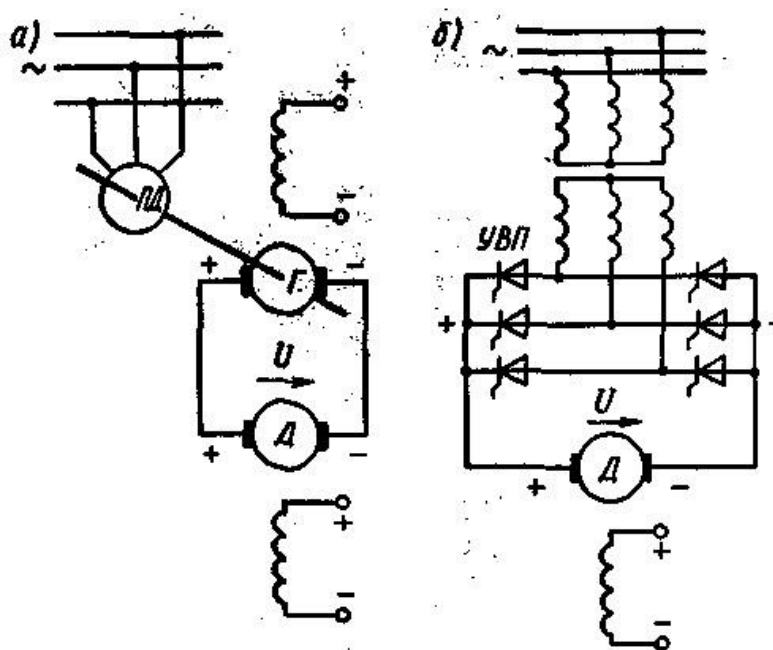


Рис. 1.13 Схемы регулирования двигателя с независимым возбуждением при питании его от генератора (а) и от управляемого выпрямителя (б).

Снижение частоты вращения осуществляют с использованием рекуперативного торможения. Увеличивая ток возбуждения двигателя, а затем постепенно уменьшая ток возбуждения генератора, можно перевести двигатель в генераторный режим и быстро затормозить механизм. При этом накопленная кинетическая энергия якоря и приводимого во вращение механизма отдается в электрическую сеть.

Управление по системе «генератор — двигатель» не требует применения силовых контакторов, реостатов и т. п. Поскольку управление двигателем осуществляется путем регулирования сравнительно небольших токов возбуждения, оно легко поддается автоматизации. Этот метод управления получил широкое применение в промышленности и на транспорте, в тех устройствах, где

требуется регулирование частоты вращения в широких пределах. В транспортных установках генератор приводится во вращение дизелем.

Недостатки этого метода:

- 1) большие масса, габариты и стоимость преобразовательной установки;
- 2) сравнительно низкий КПД (около 0,6 — 0,7), так как производится трехкратное преобразование энергии.

Управление по системе «управляемый выпрямитель — двигатель».

Развитие полупроводниковой техники позволило применить для регулирования частоты вращения двигателя управляемый выпрямитель, выполненный на тиристорах; одновременно с выпрямлением он осуществляет регулирование выпрямленного напряжения. Применение рассматриваемого метода позволяет увеличить КПД и уменьшить массу преобразовательной установки.

Если требуется быстрый останов механизма с последующим реверсированием, то для осуществления рекуперативного торможения параллельно с выпрямителем включают инвертор, т. е. еще один полупроводниковый преобразователь, позволяющий отдавать электрическую энергию из сети постоянного тока в сеть переменного.

Недостатком рассматриваемого метода является снижение коэффициента мощности при пониженном выходном напряжении. Кроме того, несколько ухудшается коммутация двигателя из-за пульсаций тока якоря, которые особенно велики при питании выпрямителя от сети однофазного тока. Управление по системе «управляемый выпрямитель — двигатель» в настоящее время получает значительное развитие.

Импульсное управление.

При этом на двигатель с помощью импульсного регулятора периодически подают импульсы напряжения определенной частоты.

А) ЧИР (регулирование происходит за счёт изменения частоты управляемых импульсов;

Б) ШИР (регулирование происходит за счёт изменения длительности управляемых импульсов.

1.5 Реостатное и рекуперативное торможение.

Рекуперативное торможение — вид электрического торможения, при котором электроэнергия, вырабатываемая тяговыми электродвигателями, работающими в генераторном режиме, возвращается в электрическую сеть. Рекуперативное торможение широко применяется на электровозах, электропоездах, современных трамваях и троллейбусах, где при торможении электродвигатели начинают работать как электрогенераторы, а вырабатываемая электроэнергия передаётся через контактную сеть либо другим электровозам, либо в общую энергосистему через тяговые подстанции.

Когда частота вращения ТЭД достигает значения идеального холостого хода (ЭДС якоря равно напряжению на двигателе), то ток в якоре и момент становятся равными нулю. Если заставить якорь вращаться с частотой, большей значения идеального холостого хода в ту же сторону, что и раньше, то ЭДС двигателя, сохраняя прежнее направление, превысит напряжение на двигателе. Ток якоря изменит своё направление на обратное. Машина работает в режиме генератора, оказывая на поезд тормозящее действие и отдавая в сеть электроэнергию. Это режим рекуперативного торможения.

Схема включения машины остаётся без изменений. Этот режим наиболее часто применяется на электрифицированных железных дорогах.

Реостатное торможение (реостатный тормоз) — вид электрического торможения, при котором электроэнергия, вырабатываемая тяговыми электродвигателями, работающих в генераторном режиме, поглощается на самом подвижном составе в тормозных резисторах. В режиме реостатного торможения тяговые электродвигатели, как правило, отключаются от контактной сети, а их обмотки возбуждения реверсируются и подключаются к независимому источнику.

Обмотки якорей в свою очередь замыкаются на тормозные резисторы. Основное преимущество данного вида торможения перед рекуперативным, заключается в его независимости от напряжения контактной сети, так как потребитель электрической энергии размещён на самом подвижном составе. Благодаря этому реостатное торможение можно применять не только на электровозах и электропоездах, но и на любом другом подвижном составе, например на тепловозах. Также реостатное торможение возможно применять в достаточно большом диапазоне скоростей, из-за чего им оборудованы многие скоростные (например российский ЭР200) и высокоскоростные поезда. Основной же недостаток реостатного тормоза — дополнительный вес от оборудования (возбудитель, тормозные реостаты) и некоторое усложнение конструкции (хотя и меньшее, по сравнению с рекуперативным тормозом), при том, что отсутствует экономия в электроэнергии.

Реостатное торможение может применяться как при высоких так и при низких частотах вращения, так как напряжение двигателя, работающего в режиме генератора, в этом случае не связано с напряжением сети и может быть установлено таким, которое необходимо для получения требуемого тормозного момента. В этом режиме обмотка якоря отключается от сети и замыкается на тормозной реостат, а обмотка возбуждения остаётся включенной в сеть. После отключения обмотки якоря от сети двигатель продолжает вращаться за счёт кинетической энергии поезда.

Так как направление вращения не изменилось, то возникающие при этом ЭДС и ток якоря совпадают по направлению и машина работает в режиме генератора, расходуя вырабатываемую энергию на нагрев тормозного резистора. При взаимодействии тока якоря и магнитного потока создаётся электромагнитный момент, являющийся тормозным. Если вращение машины происходит только за

счёт кинетической энергии поезда, то частота вращения, уменьшаясь, постепенно достигает нуля (Рис. 1.14, 1.15).



Рис. 1.14 Тормозные резисторы на крыше моторного вагона электропоезда ЭР2Р.



Рис. 1.15 ВЛ80с, оборудованный реостатным тормозом.

Рекуперативно-реостатное торможение — разновидность электрического торможения, при котором в процессе изменения скорости последовательно сменяются или накладываются одно на другое рекуперативное и реостатное торможения. Для повышения плавности тормозного процесса, в местах перехода тормозные характеристики перекрываются. Основное преимущество данного вида торможения заключается в том, что в этом случае расширяется область скоростей применения электрического торможения и его эффективность. Данный тип электрического торможения получил широкое распространение среди

пригородных электропоездов постоянного тока (например ЭР2Р, ЭР22, ЭТ2) (Рис. 1.16).



Рис. 1.16 ЭР2Р, оборудованный рекуперативно – реостатным тормозом.

2. Выпрямители.

2.1 Неуправляемые выпрямители

Неуправляемые выпрямительные установки получили широкое распространение в приводах локомотивов (Рис. 2.1).

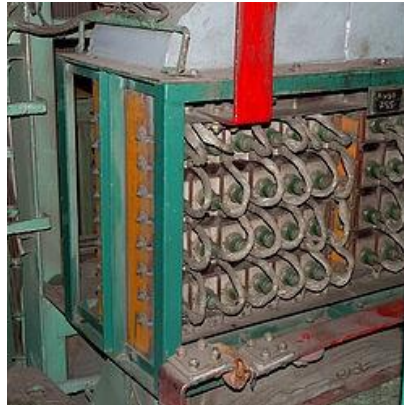


Рис. 2.1 Силовой диодный выпрямитель электровоза ВЛ80С.

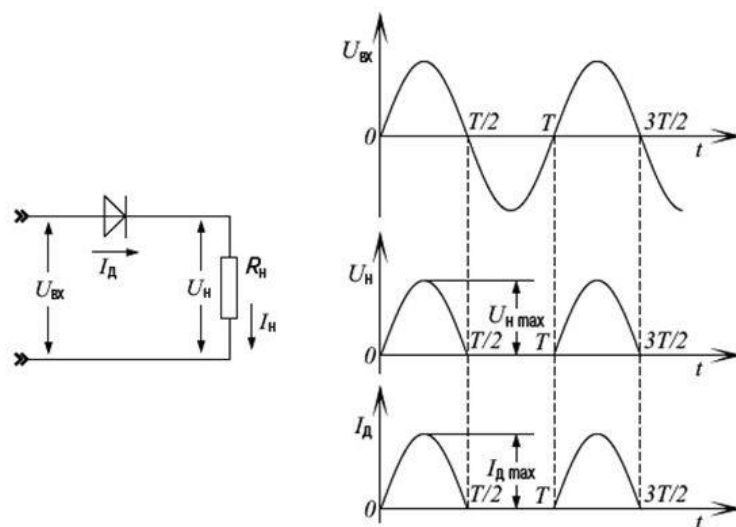


Рис. 2.2 Однофазный однополупериодный выпрямитель.

Однофазный однополупериодный выпрямитель (Рис. 2.2).

Недостатки:

- Большая величина пульсаций
- Сильная нагрузка на вентиль (требуется диод с большим средним выпрямленным током)

- Низкий коэффициент использования габаритной мощности трансформатора (около 0,45) (не путать с КПД, который зависит от потерь в меди и потерь в стали и в однополупериодном выпрямителе почти такой же, как и в двухполупериодном).

Преимущество: экономия на количестве вентилях.

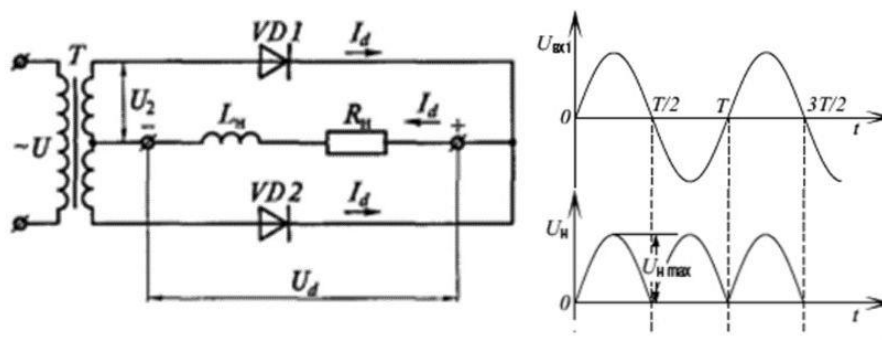


Рис. 2.3 Однофазный двухполупериодный выпрямитель со средней точкой.

Однофазный двухполупериодный выпрямитель со средней точкой (Рис. 2.3).

Недостатки:

- Во время прохождения тока через один из диодов обратное напряжение на другом (закрытом) диоде в пике достигает удвоенного максимального входного напряжения.

- Наличие сложного трансформатора

Преимущество: невысокая величина пульсаций.

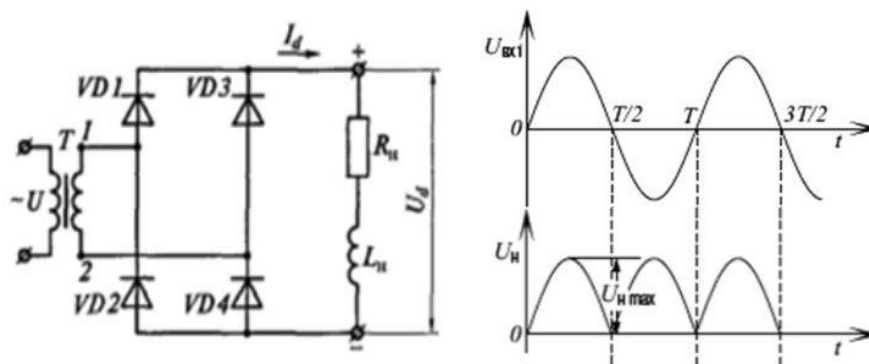


Рис. 2.4 Мостовая схема выпрямителя.

Мостовая схема выпрямителя (Рис. 2.4).

Недостаток: большое количество вентиляей.

Преимущества:

- Невысокая величина пульсаций.
- Отсутствие большого обратного тока
- Нет необходимости в средней точке

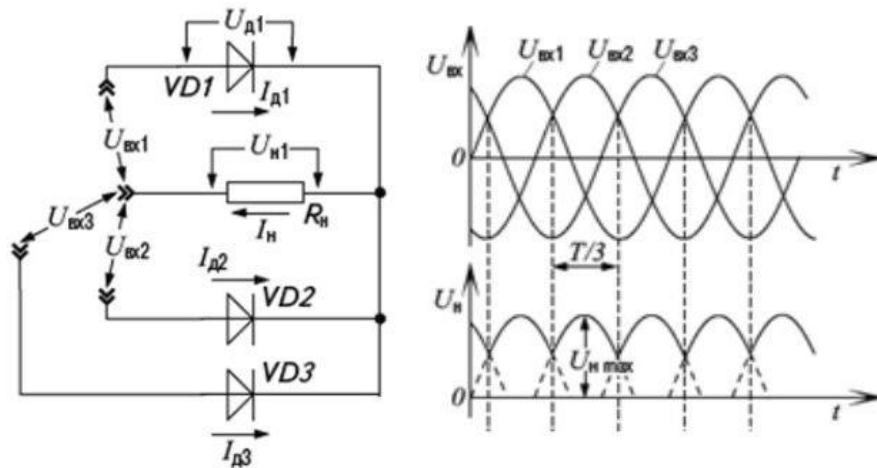


Рис. 2.5 Трёхфазный однополупериодный выпрямитель.

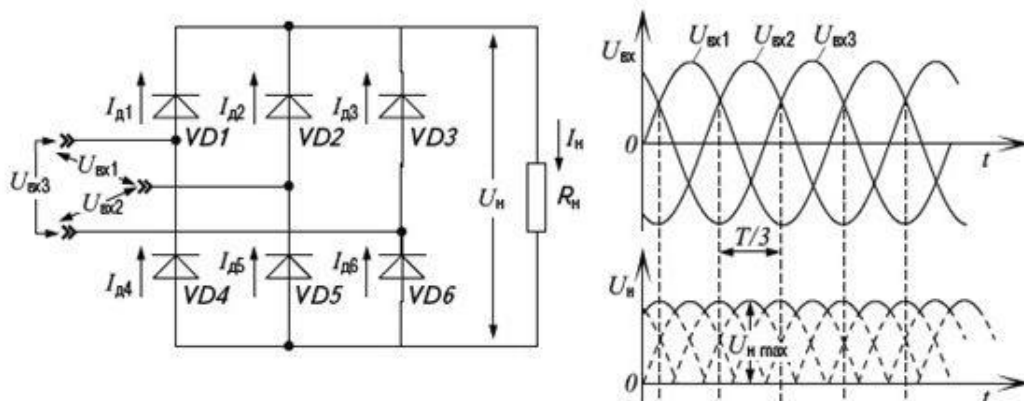


Рис. 2.6 Трёхфазный двухполупериодный выпрямитель.

Трёхфазный однополупериодный выпрямитель (Рис. 2.5) и трёхфазный двухполупериодный выпрямитель (Рис. 2.6) имеют меньшее количество пульсаций на выходе.

Двенадцатипульсовый выпрямитель.

Обеспечивает меньший уровень пульсаций и позволяет создать агрегат на более высокие токи и напряжения. Существуют собственные и эквивалентные схемы таких выпрямителей. Собственные схемы строятся на основе последовательного соединения двух шестипульсовых схем, каждая из которых питается от своего источника или трансформатора. Эквивалентные схемы строятся на основе параллельного соединения шестипульсовых схем. Они нашли широкое применение в выпрямительных установках локомотивов (Рис. 2.7).

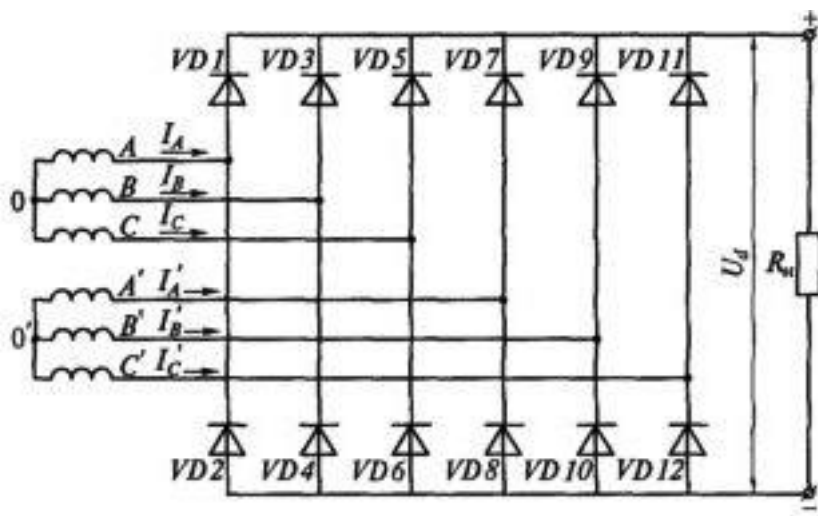


Рис. 2.7 Двенадцатипульсовый выпрямитель.

2.2 Выпрямительные установки локомотивов.

Групповое соединение вентиляей.

В выпрямителях большой мощности (на локомотивах) требования к среднему значению прямого тока и обратному напряжению могут превышать номинальные значения параметров существующих вентиляей. В этих случаях задача решается параллельным и последовательным соединением полупроводниковых приборов (Рис. 2.8), которое также используется для повышения надежности установок, когда выход из строя отдельного прибора не должен вызывать нарушения работы всей установки.

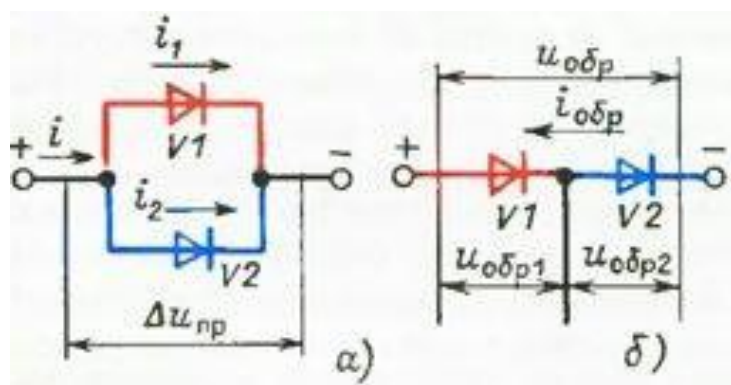


Рис. 2.8 Параллельное (а) и последовательное (б) соединение вентиляей.

При параллельном соединении двух вентиляей, протекающий через них общий ток i , при одинаковом прямом падении напряжения $\Delta U_{пр}$ на обоих приборах распределяется неравномерно: через диод V1 протекает ток i_1 , а через диод V2 ток i_2 , отличный от i_1 вследствие несовпадения прямых ветвей вольт-амперных характеристик. Это вызывает перегрузку по току отдельных вентиляей, приводящую к выходу их из строя вследствие перегрева.

В случае последовательного соединения вентиляей через оба прибора протекает один и тот же обратный ток $i_{обр}$, но приложенное к ним обратное напряжение $U_{обр}$ ввиду различия обратных ветвей вольт-амперных характеристик

распределяется по диодам неравномерно: к вентилю $V1$ прикладывается напряжение $U_{обр1}$, а к вентилю $V2$ - напряжение $U_{обр2}$ (отличное от $U_{обр1}$). Превышение на одном из вентилях обратного напряжения может привести к пробоем не только данного, но и всех остальных вентилях вследствие повышения на них $U_{обр}$.

Для выравнивания токов между параллельно включенными вентилями применяют два способа:

- Подбирают вентили с малым различием прямых ветвей вольт-амперных характеристик (падение напряжения $\Delta U_{пр}$ на отдельных приборах не должно отличаться более чем на 0,02 В). Такой способ часто используется на локомотивах.

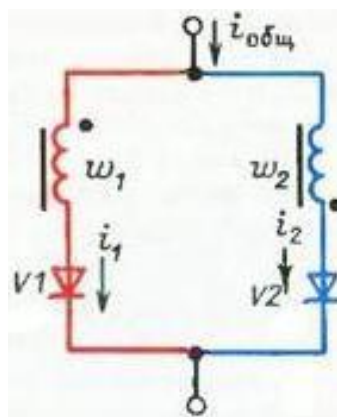


Рис. 2.9 Схема для выравнивания токов.

- Применение индуктивных делителей тока (Рис. 2.9). Если токи $i1$ и $i2$, протекающие в обмотках такого дросселя в противоположных направлениях, будут неодинаковыми, то это вызовет появление неуравновешенного магнитного потока в сердечнике, изменение которого будет индуцировать в обмотках $w1$ и $w2$ противоположно направленные ЭДС, которые будут выравнивать вольт-амперные характеристики параллельных ветвей и способствовать равномерному распределению тока в диодах $V1$ и $V2$.

Для равномерного распределения обратного напряжения на последовательно включенных вентилях параллельно каждому из них подключаются резисторы $R_{ш}$.

- Применение конденсаторных схем (Рис. 2.10)

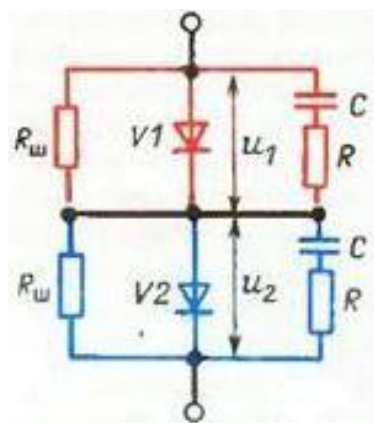


Рис. 2.10 Конденсаторная схема.

Такой делитель выравнивает обратное напряжение в установившемся режиме. Для обеспечения равномерного распределения $U_{обр}$ в переходных режимах, например при переходе последовательно включенных тиристоров из открытого состояния в закрытое, параллельно вентилям включают конденсаторы с резисторами (RC -цепочки).

Вентиль.

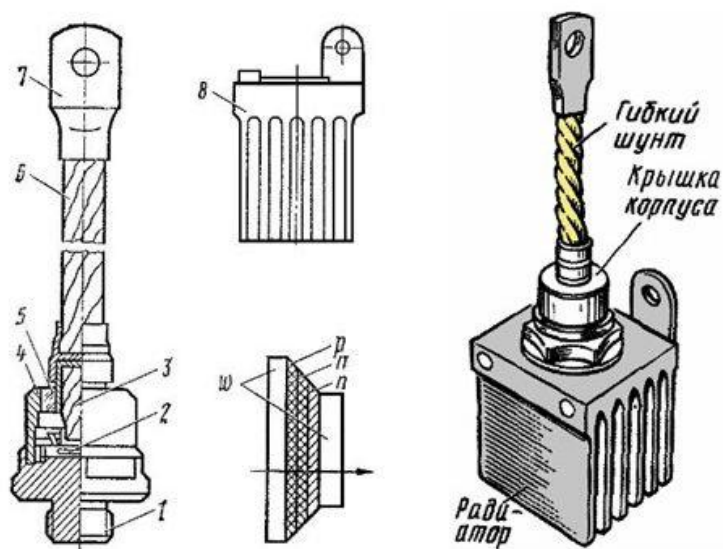


Рис. 2.11 Вентиль ВЛ200-8 выпрямительной установки ВУК-4000.

Основным элементом всех выпрямительных установок является вентиль. При прохождении через вентиль тока часть энергии теряется — выделяется в виде

тепла. Если не предусмотреть принудительного охлаждения — вентиляции, то эти потери могут привести к недопустимому нагреву оборудования, в первую очередь самих вентилях. Поэтому вентили монтируют в специальных охладителях — радиаторах с развитой поверхностью в виде ребер, а преобразователи оборудуют системой принудительного охлаждения потоком воздуха.

Выпрямительный элемент 2 припаян (Рис. 2.11) к массивному медному основанию 1, представляющему собой короткий болт с шестигранной головкой, на торце которой имеется цилиндрическое углубление для выпрямительного элемента. Нарезка на стержне болта служит для ввинчивания в тело охладителя (радиатора) 8, способствующего лучшему отводу тепла от диода. Сверху в основание завальцован стальной цилиндрический кожух 4, защищающий выпрямительный элемент от воздействия окружающей среды. К верхнему электроду элемента припаян гибкий провод 3, выходящий наружу сквозь изолирующую втулку 5 из свинцового стекла, укрепленную в верхней части кожуха. Наружный конец гибкого провода верхнего вывода 6, являющегося одним из электродов диода, снабжен стандартным наконечником 7 для включения диода в цепь.

Для преобразователей большой мощности требуются десятки, а иногда сотни вентилях. Ток и напряжение должны равномерно распределяться между всеми вентилями. Поэтому в преобразователях используют устройства, выравнивающие ток и напряжение между вентилями.

Выпрямительная установка ВУК-4000Т электровоза ВЛ80.

Конструктивно выпрямительная установка (Рис. 2.12) выполнена в виде двух шкафов прямоугольной формы, основу которых составляет сварной металлический каркас 1. Поскольку каждый вентиль 3 с радиатором 4 должен быть изолирован от

соседних вентилях, радиаторы укреплены на изоляционных шпильках 6 и между ними проложены изоляционные прокладки. Шины 2, которыми выпрямительные установки подсоединены к цепям трансформатора и двигателей, установлены на изоляторах 5. Вентили одного плеча расположены с одной стороны, а вентили другого плеча — с другой.

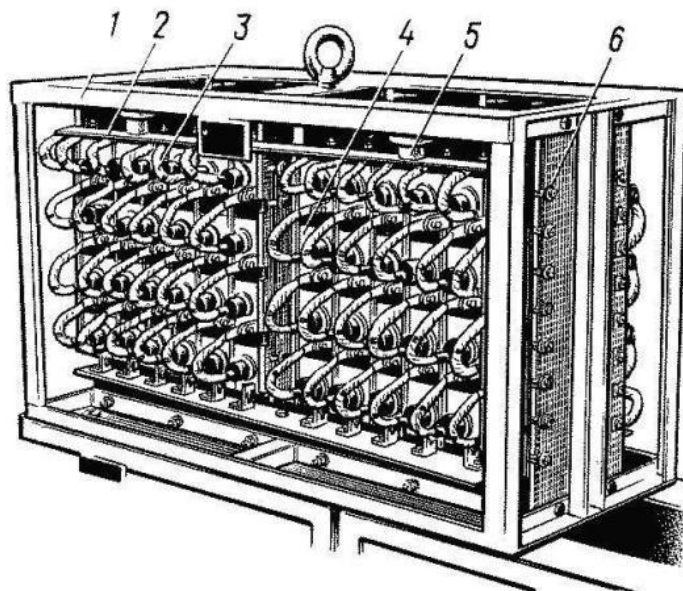


Рис. 2.12 Выпрямительная установка ВУК-4000Т.

В каждую из 12 параллельных ветвей плеча входят четыре вентиля, расположенных друг под другом. Радиаторы охлаждаются потоком воздуха, направленного от вентилятора через переключающее устройство сверху вниз. Корпуса вентилях со стороны гибкого вывода охлаждаются благодаря естественной циркуляции воздуха. На каждой секции электровоза установлены четыре блока выпрямительных установок ВУК-4000Т.

В каждом блоке размещено по шесть диодов с охладителями. Для удобства замены диодов в эксплуатации они по значению прямого падения напряжения разбиты на две подгруппы, каждая из которых имеет следующую маркировку:

подгруппа I (0,52; 0,53; 0,54 В) — цвет черный;

подгруппа II (0,55; 0,56; 0,57; 0,58 В) — цвет белый.

Одна выпрямительная установка содержит 192 диода. Плечо моста содержит 4 последовательно и 12 параллельно соединенных диодов (Рис. 2.13).

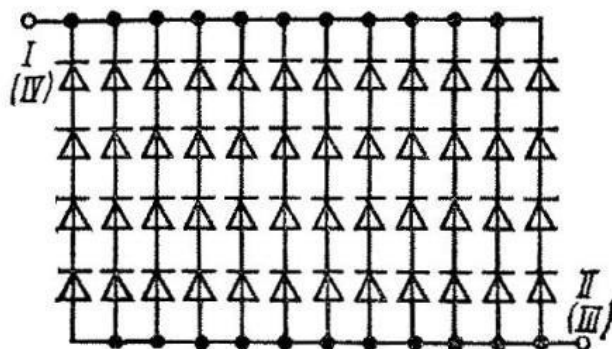
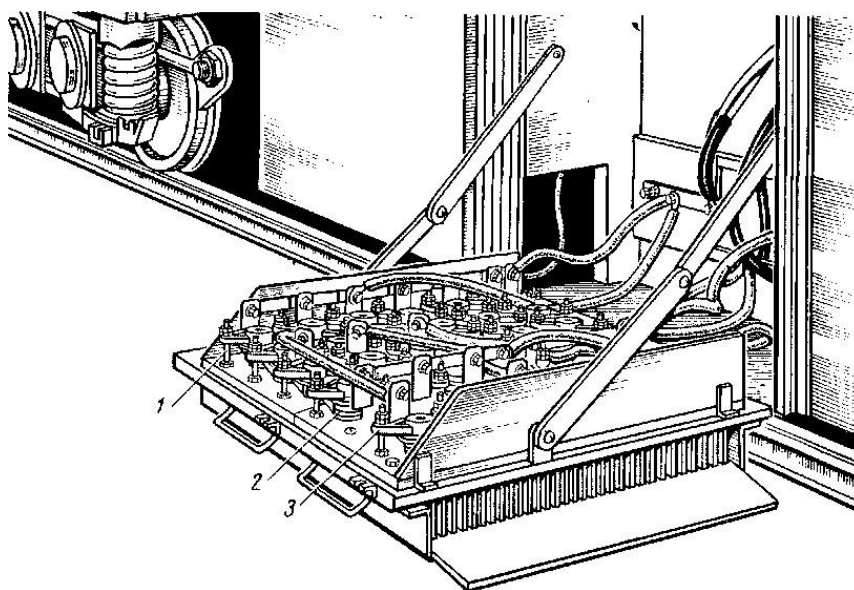


Рис. 2.13 Плечо моста.

Выпрямительная установка УВП-5А.

На электропоезде ЭР9Е применена выпрямительная установка УВП-5А (Рис. 2.14). Конструктивно установка представляет собой пыленепроницаемую подвагонную камеру с односторонним обслуживанием. Внутри камеры на четырех групповых охладителях размещены таблеточные лавинные диоды. Для лучшего доступа к элементам схемы предусмотрено шарнирное откидывающееся крепление групповых охладителей с углом поворота 90°.



*Рис. 2.14 Выпрямительная установка УВП-5А электропоезда ЭР9Е.
1 — шпилька; 2 — полупроводниковый вентиль; 3 — траверса*

Общее количество диодов в установке — 60 шт. Электрическая схема установки представляет собой однофазный выпрямительный мост с расщеплениями двух плеч для обеспечения плавного бестокового перехода с одной позиции на другую.

Плечи выпрямительного моста состоят из трех параллельных ветвей, в каждой из которых по четыре последовательно соединенных вентиля.

На двух групповых охладителях из четырех расположено по 18 диодов, на двух других — по 12. Контактное нажатие внутри диода и минимальное тепловое сопротивление системы диод — охладитель обеспечивается внешним механическим прижимным устройством (Рис. 2.15). В качестве таблеточных вентилях в выпрямительной установке применены диоды ВЛ7-320.

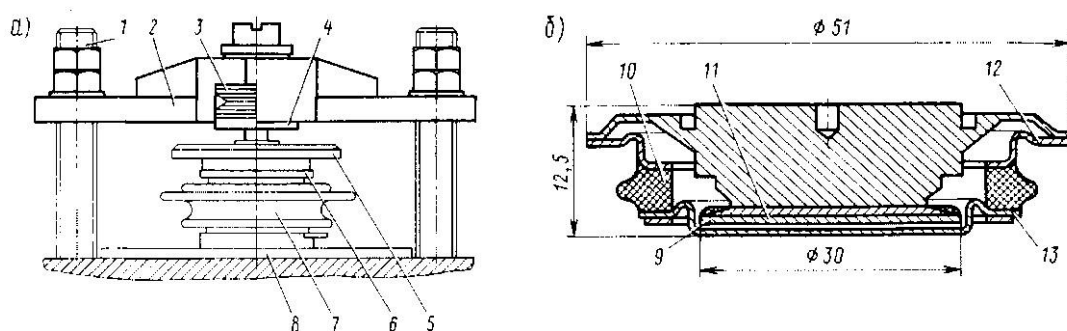


Рис. 2.15 Прижимное устройство (а) и схематический разрез таблеточного диода ВЛ7-320 (б).

1—шпилька; 2—траверса; 3—комплект тарельчатых пружин; 4—втулка; 5—изоляционная шайба; 6—токоотводящая шина; 7—таблеточный вентиль ВЛ7-320; 8—электроизоляционный диск; 9—выпрямительный элемент; 10—металлокерамический корпус; 11—термокомпенсирующая вольфрамовая пластина; 12—верхняя манжета металлокерамического корпуса; 13 —нижняя манжета.

От группового охладителя каждый вентиль изолирован диском из полимерного материала ПИ-3, отличающегося высокой теплопроводностью и электрической прочностью.

Охлаждение оборудования осуществляется набегающим потоком воздуха при движении электропоезда.

Защитные кожуха выпрямительной установки для повышения эффективности охлаждения имеют направляющие патрубки для захвата встречного потока воздуха и направления его на ребра групповых охладителей.

2.3 Сглаживающий реактор.

Сглаживающие фильтры.

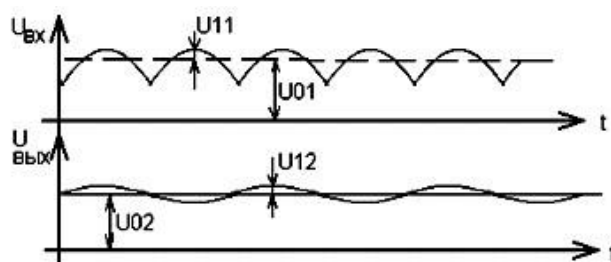


Рис. 2.16 Определение коэффициента сглаживания.

Сглаживающий фильтр предназначен для подавления пульсаций выпрямленного напряжения. Он относится к классу низкочастотных фильтров. Критерием качества сглаживающих фильтров является коэффициент сглаживания (2.16):

$$k_{\text{сгл}} = K_{\text{п.вх}} / K_{\text{п.вых}}. \quad (7)$$

Индуктивный сглаживающий фильтр (Рис. 2.17) представляет собой катушку индуктивности L (дроссель), активное сопротивление которой $R_{\text{ДР}}$ постоянному току I невелико и значительно меньше сопротивления нагрузки $R_{\text{Н}}$. Поэтому напряжение на нагрузке $U_{\text{РН}}$ близко по значению постоянной составляющей $U_{\text{вх}}$ входного напряжения $U_{\text{вх}}$.

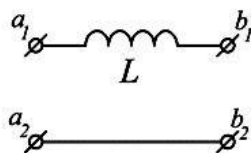


Рис. 2.17 Индуктивный сглаживающий фильтр.

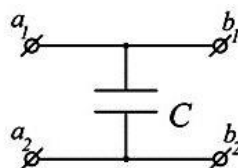


Рис. 2.18 Емкостной фильтр.

Емкостной фильтр (Рис. 2.18) представляет собой конденсатор C , сопротивление которого переменному току значительно меньше сопротивления нагрузки R_H . Поэтому общее сопротивление параллельно включенных конденсатора C и нагрузки R_H оказывается значительно меньше сопротивлений диодов и обмотки трансформатора, являющихся внутренним сопротивлением выпрямителя. Падение напряжения, вызываемое переменной составляющей выпрямленного тока, происходит в основном на внутреннем сопротивлении выпрямителя и лишь незначительное переменное напряжение пульсаций выделяется на нагрузке R_H .

Индуктивно-емкостной (LC) фильтр (Рис. 2.19) состоит из катушки индуктивности L и конденсатора C .

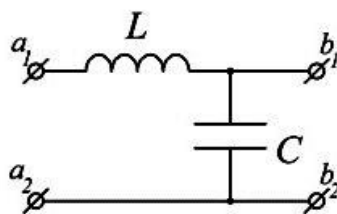


Рис. 2.19 Индуктивно-емкостной фильтр (Γ -образный).

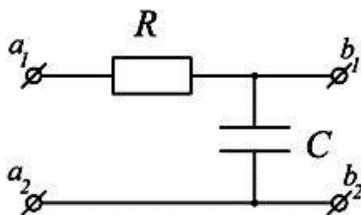


Рис. 2.20 Резистивно-емкостной (RC) фильтр.

Резистивно-емкостной (RC) фильтр (Рис. 2.20) состоит из резистора R и конденсатора C .

Сглаживающий реактор.

Мощные индуктивные фильтры, применяемые на локомотивах, называются сглаживающими реакторами. Сглаживающий реактор — это статическое

электромагнитное устройство, предназначенное для использования его индуктивности в электрической цепи с целью уменьшения содержания пульсаций в выпрямленном токе. Пульсации должны быть в пределах до 10 % от величины постоянного тока. Сглаживающий реактор обычно соединяется последовательно с выпрямителем, таким образом, через него протекает весь ток нагрузки. Ограничивается только переменная составляющая тока, то есть электрические потери в реакторе минимальны. Использование сердечника из электротехнической стали, позволяет снизить магнитные потери и создать значительную индуктивность при малых габаритах.

В результате преобразования переменного тока в постоянный возникает пульсация напряжения, которая оказывает неблагоприятное влияние на работу тяговых двигателей. Вследствие пульсирующего напряжения, подведенного к электродвигателю, в его обмотках протекает пульсирующий ток, ухудшающий коммутацию и увеличивающий потери из-за пульсации магнитного потока.

Пульсация выпрямленного тока изменяет форму кривой переменного тока в первичной обмотке трансформатора. Вызывая увеличение эффективного значения выпрямленного тока, пульсация оказывает неблагоприятное влияние на коэффициент мощности локомотива, который уменьшается при повышении пульсации. Кроме того, пульсация выпрямленного тока повышает нагрев тягового двигателя и сглаживающего реактора.

При пульсации магнитного потока главных полюсов в коммутирующих витках обмотки якоря наводится трансформаторная э. д. с. Одновременно из-за демпфирующего действия вихревых токов в массивных сердечниках дополнительных полюсов и остовах электродвигателя магнитный поток дополнительных полюсов не соответствует значениям тока в обмотке якоря, т. е.

ухудшается компенсация реактивной э. д. с. Оба эти обстоятельства нарушают процесс коммутации.

В массивном остове тягового двигателя, служащем магнитопроводом потока возбуждения, переменная составляющая пульсирующего тока наводит вихревые токи, для которых нешихтованный остов представляет малое сопротивление. Вихревые токи тормозят изменение магнитного потока обмотки возбуждения, понижая этим ее индуктивность. Уменьшение индуктивности обмоток главных полюсов ведет к резкому уменьшению общей индуктивности электродвигателя, так как индуктивное сопротивление обмоток главных полюсов значительно выше индуктивного сопротивления обмоток дополнительных полюсов и якоря. Уменьшение общей индуктивности тягового двигателя приводит к возрастанию пульсации тока.

Для уменьшения пульсации тока в обмотке главных полюсов тягового двигателя параллельно ей подключают активный резистор. Вследствие относительно большой величины индуктивного сопротивления обмотки главных полюсов переменная составляющая выпрямленного тока почти полностью проходит через шунтирующий обмотку активный резистор, даже если величина его сопротивления в несколько раз превосходит величину активного сопротивления обмотки главных полюсов.

Чтобы уменьшить пульсацию тока в цепи тягового двигателя и улучшить условия его работы, последовательно с обмотками электродвигателя включают сглаживающий реактор. Для обеспечения надежной коммутации тяговых двигателей во всем диапазоне нагрузок необходимо, чтобы индуктивность цепи выпрямленного тока с изменением нагрузки изменялась по гиперболе. С этой целью сглаживающие реакторы изготовляют таким образом, что их индуктивность имеет наименьшую величину при больших токах и наибольшую — при малых. С

уменьшением нагрузки возрастает величина индуктивного сопротивления и обмоток электродвигателя.

Гиперболическое изменение индуктивности цепи выпрямленного тока при изменении нагрузки необходимо для поддержания постоянной величины относительной пульсации выпрямленного тока. Последнее целесообразно для улучшения условий коммутации тяговых двигателей. В этом случае с увеличением частоты вращения абсолютная величина пульсации тока уменьшается, что в известной мере компенсирует более тяжелые условия коммутации тяговых двигателей в области высоких скоростей движения. Обычно сглаживающий реактор рассчитывают так, чтобы величина пульсации выпрямленного тока в цепи тягового двигателя составляла около + 25% при номинальном токе. Более полное сглаживание требует применения реактора значительных размеров и массы и приводит к вредному искажению формы кривой тока в контактной сети.

Конструкции сглаживающих реакторов.

Основными частями сглаживающего реактора являются катушка, магнитопровод или шихтованные экранирующие магнитные пакеты, монтажные детали (боковины, стягивающие дюралюминиевые шпильки, кожух, экран и др.). Шихтованные экранирующие пакеты предотвращают нагрев окружающих металлических конструкций потоками рассеяния.

Катушки 1 выполняют (Рис 2.21) т из шин медных, намотанных на ребро, с зазором до 4 мм, алюминиевых или из провода (реакторы СР-800 и др.). Для витковой изоляции катушки из медных шин обычно применяют электронит, установленный на $\frac{1}{3}$ высоты шины для лучшего охлаждения, а из провода — стеклоленту, наматывая ее в один слой вполуперекрышу. Торцы и цилиндрическую поверхность магнитопровода реакторов РС-32, РС-33, РС-50, РС-53, РС-55 и РС-56

покрывают стеклопластом; толщина основного слоя 7 мм. Стеклопласт обеспечивает упругое крепление пакета без каких-либо крепежных деталей.

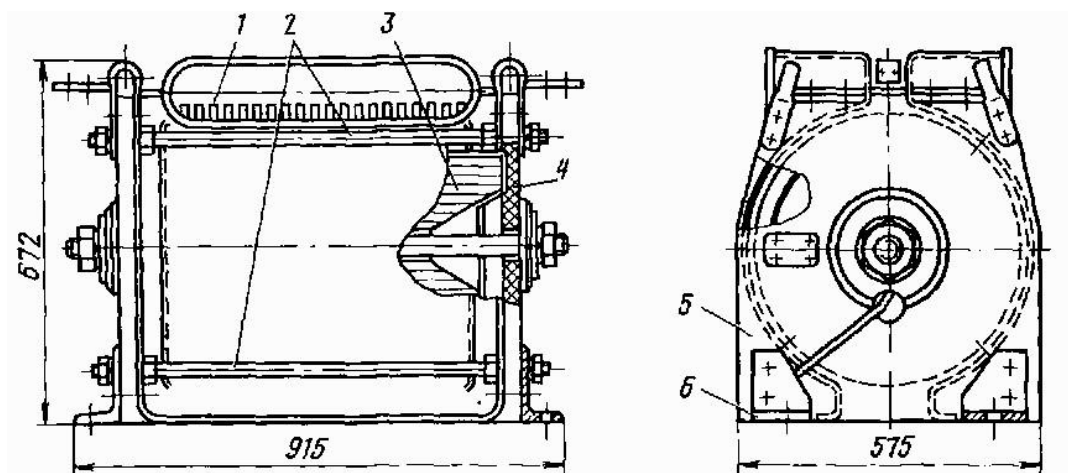


Рис. 2.21 Сглаживающий реактор РС-53 электровозов ВЛ80Т, ВЛ80С.
1 — обмотка; 2 — шпильки стяжные, 3 — радиально-шихтованный сердечник;
4 — боковина, 5 — кожух; 6 — установочный угольник.

Сглаживающие реакторы РС-32, РС-53, РС-60 выполнены с разомкнутой магнитной системой, равноценны по электромагнитным характеристикам, имеют принудительное воздушное охлаждение, и одинаковые по конструкции обмотки и магнитопроводы. Различие между ними заключается в конструкциях воздухопроводов. Воздуховод реактора РС-53 входит в конструкцию самого реактора. Реакторы РС-32 и РС-60 размещают в вентиляционных камерах, которые являются частью кузова электровоза. Магнитопровод такого реактора выполнен в виде одиночного радиально-шихтованного стержня круглого сечения.

Сглаживающие реакторы ЭРБД-800 и СР-800 имеют магнитопроводы броневого типа. Каждая обмотка их состоит из 14 секций (168 витков) из провода ПСД-3,05 • 10. Реактор ЭРБД-800 имеет принудительное воздушное охлаждение, реактор СР-800 охлаждается одновременно с установленными на нем охладителями масла тягового трансформатора.

2.4 Управляемые вентили.

Выпрямительные установки, в которых применены управляемые вентили — тиристоры, используются на электровозах ВЛ80т и ЧС4Т для регулирования режима реостатного торможения путем изменения тока возбуждения тяговых двигателей в зависимости от необходимой силы торможения, скорости и других факторов.

На электровозе ВЛ80р выпрямительно-инверторные преобразователи выполнены на управляемых вентилях. Они в режиме тяги выполняют роль управляемых выпрямителей, а в режиме рекуперативного торможения — управляемых инверторов.

Тиристоры.

Тиристор (Рис. 2.22) — полупроводниковый прибор, выполненный на основе монокристалла полупроводника с тремя или более p-n-переходами и имеющий два устойчивых состояния: закрытое состояние, то есть состояние низкой проводимости, и открытое состояние, то есть состояние высокой проводимости.



Рис 2.22 Тиристоры.

Тиристор можно рассматривать как электронный выключатель (ключ). Основное применение тиристоров — управление мощной нагрузкой с помощью слабых сигналов, а также переключающие устройства.

Тиристор имеет четырехслойную р-п-р-п-структуру (Рис. 2.23) с тремя выводами: анод , катод и управляющий электрод.

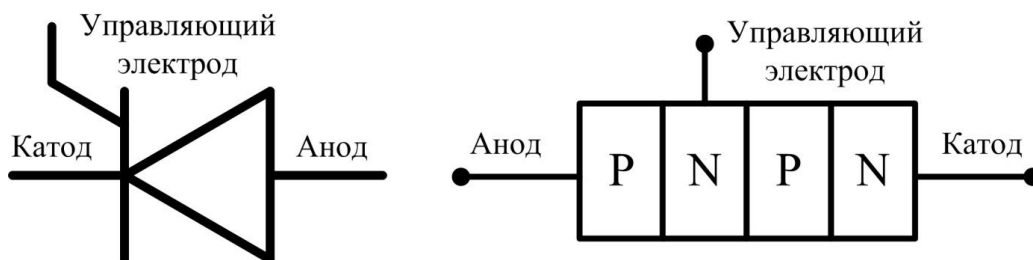


Рис. 2.23 Структура тиристора.

Защита тиристорov

Тиристоры являются приборами, критичными к скоростям нарастания прямого тока и прямого напряжения . Тиристорам, как и диодам, присуще явление протекания обратного тока восстановления, резкое падение которого до нуля усугубляет возможность возникновения перенапряжений. Перенапряжения являются следствием резкого прекращения тока в индуктивных элементах схемы, включая малые индуктивности монтажа. Поэтому для защиты тиристорov обычно используют различные схемы. Часто для этой цели обычно используют RC-цепи, подключаемые параллельно тиристору (Рис. 2.24).

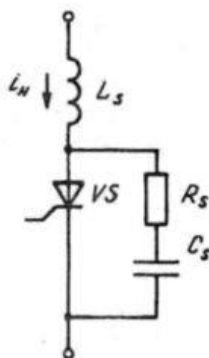


Рис. 2.24 Схема защиты тиристора.

Коммутация тиристора.

Включение обычного тиристора осуществляется подачей импульса тока в цепь управления положительной, относительно катода, полярности. Но при снятии

управляющего импульса тиристор не отключится. Для отключения необходимо разорвать анодно – катодную цепь или поменять в ней полярность.

Среди способов выключения тиристоров принято различать естественное выключение (или естественную коммутацию) и принудительное (или искусственную коммутацию).

Естественная коммутация происходит при работе тиристоров в цепях переменного тока в момент спадания тока до нуля.

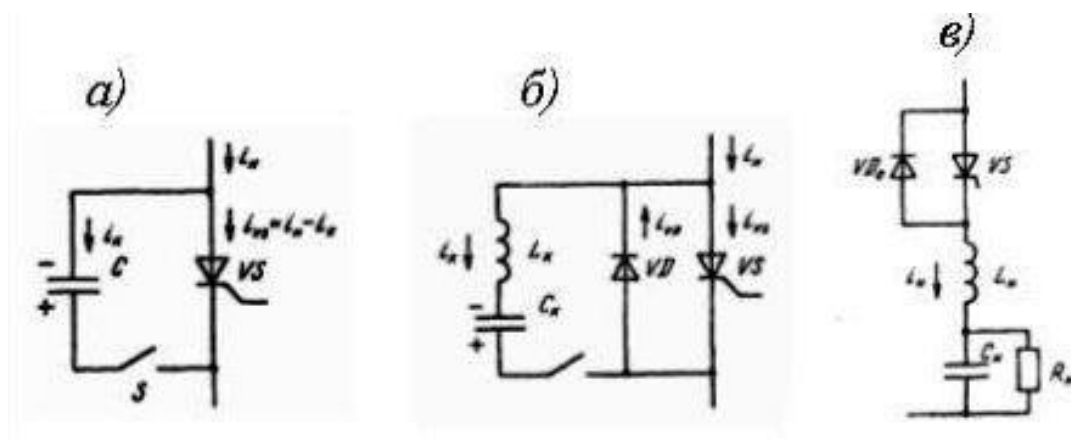


Рис. 2.25 Коммутация тиристора.

Способы принудительной коммутации весьма разнообразны. Наиболее характерны из них следующие: подключение предварительно заряженного конденсатора C ключом S (Рис. 2.25 а); подключение LC -цепи с предварительно заряженным конденсатором C_k (Рис. 2.25 б); использование колебательного характера переходного процесса в цепи нагрузки (Рис. 2.25 в).

При коммутации по схеме а, подключение коммутирующего конденсатора, например другим вспомогательным тиристором, вызовет его разряд на проводящий основной тиристор. Так как разрядный ток конденсатора направлен встречно прямому току тиристора, последний снижается до нуля и тиристор выключится.

В схеме б подключение LC -контра вызывает колебательный разряд коммутирующего конденсатора C_k . При этом в начале разрядный ток протекает

через тиристор встречно его прямому току, когда они становятся равными, тиристор выключается. Далее ток LC -контура переходит из тиристора VS в диод VD . Пока через диод VD протекает ток контура, к тиристору VS будет приложено обратное напряжение, равное падению напряжения на открытом диоде.

В схеме в включение тиристора VS на комплексную RLC -нагрузку вызовет переходный процесс. При определенных параметрах нагрузки этот процесс может иметь колебательный характер с изменением полярности тока нагрузки i_n . В этом случае после выключения тиристора VS происходит включение диода VD , который начинает проводить ток противоположной полярности. Иногда этот способ коммутации называется квазиестественным, так как он связан с изменением полярности тока нагрузки.

Мощные тиристоры.

Силовые тиристоры, широко применяемые на электроподвижном составе, способны находиться в закрытом состоянии в случае приложения к ним как прямого, так и обратного напряжения, если на вентиль не подается сигнал управления, и пропускать ток при весьма малом падении напряжения в прямом направлении, если прибор открыт управляющим сигналом.

Управляемые вентили (штыревые и др.) конструктивно сходны с неуправляемыми. Отличие их состоит в том, что они, кроме силового (гибкого), имеют еще дополнительный вывод в корпусе от управляющего электрода. В мощных тиристорах толщина кремниевой пластинки, находящейся внутри корпуса полупроводникового прибора, не превышает 0,35 мм. Диаметр ее зависит от пропускаемого тока.

Широкое распространение получили тиристоры и диоды таблеточного типа (Рис. 2.26), так как у них по сравнению со штыревыми существенно увеличена поверхность охлаждения, улучшен теплоотвод и выше стойкость к перегрузкам.

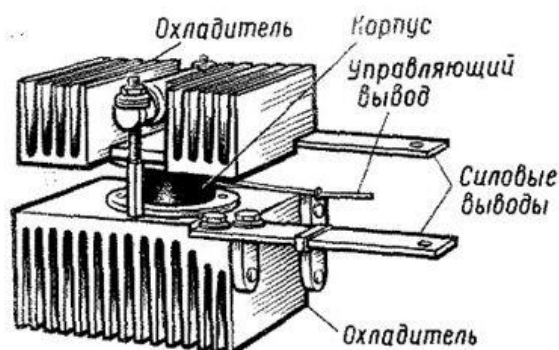


Рис. 2.26 Общий вид тиристора таблеточной конструкции.

Таблеточные тиристоры и диоды зажимают контактными поверхностями, представляющими собой анодный и катодный электроды прибора, между двумя половинками охладителей, которые изолированы друг от друга.

Напряжение включения можно значительно снизить, если на управляющий электрод подать импульс тока. Очевидно, что тиристоры должны выдерживать в закрытом состоянии не только обратное напряжение, но и прямое. Переход тиристора в открытое состояние должен происходить только при наличии импульса тока в цепи управления.

Конструктивные особенности управляемых выпрямительных установок.

Конструктивно управляемые выпрямительные установки аналогичны неуправляемым. Групповое соединение управляемых вентилях производится так же как и неуправляемых. Отличаются конструкции управляемых установок наличием у тиристора управляющего электрода. Это обуславливает наличие управляющих шин и выводов.

2.5 Управляемые выпрямители.

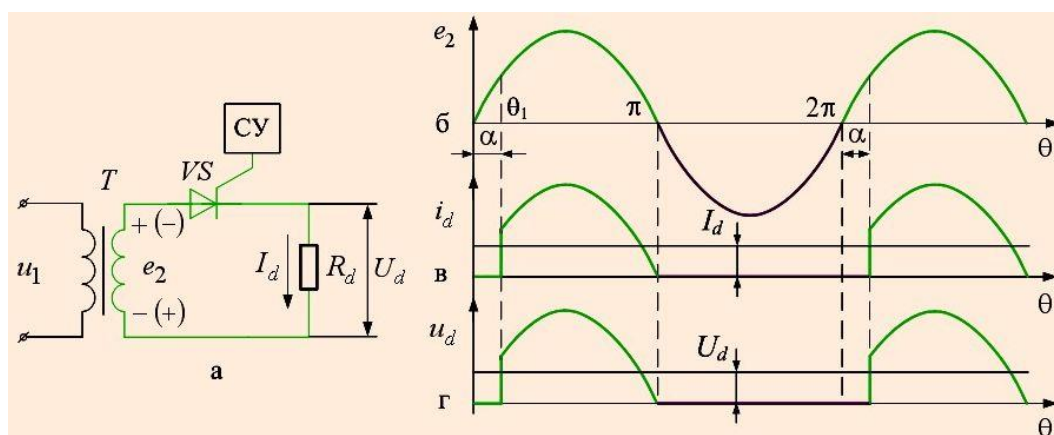


Рис. 2.27 Схема (а) и временные диаграммы (б,в,г) управляемого выпрямителя.

В отличие от обычного диода тиристор (Рис. 2.27) может включиться при подаче на его управляющий электрод сигнала управления от управляющего устройства – системы управления (СУ). До поступления сигнала тиристор будет находиться в закрытом состоянии, и тока пропускать не будет, несмотря на то, что к его аноду приложен положительный потенциал относительно катода. Угол α называется углом управления.

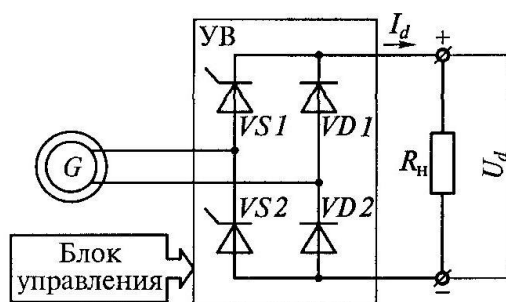


Рис. 2.28 Мостовая схема однофазного управляемого выпрямителя (УВ – управляемый выпрямитель).

Однофазные схемы (Рис. 2.28) нашли применение в тепловозах 2ТЭ116, ТЭП70, ТЭМ7 в системах регулирования тока обмотки возбуждения тяговых генераторов. На управляющие выводы тиристоров $VS1$ и $VS2$ подаются отпирающие импульсы, вырабатываемые системой автоматического регулирования (Рис. 2.29).

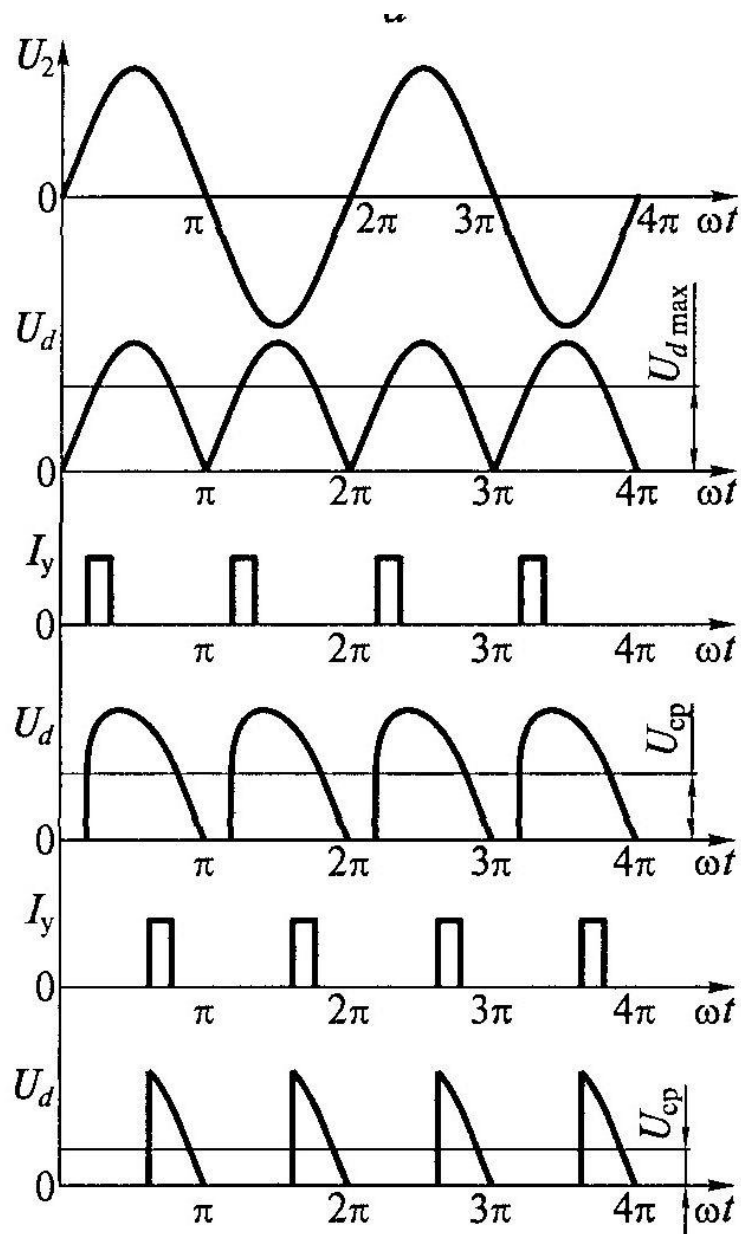


Рис. 2.29 Графики изменения напряжений и токов в мостовом однофазном управляемом выпрямителе.

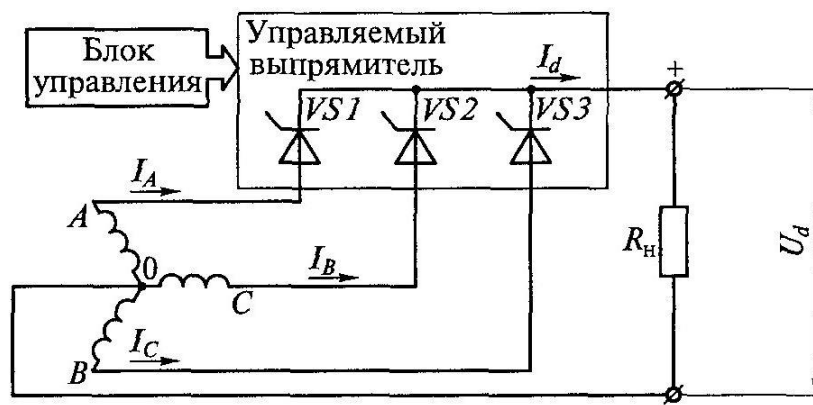


Рис. 2.30 Однополупериодный управляемый выпрямитель трёхфазного напряжения.

На тепловозах ТЭ109, 2ТЭ116УП, 2ТЭ121 устанавливают тяговый агрегат, содержащий тяговый генератор и отопительный генератор. Последний предназначен для питания системы электроснабжения поезда и приводов вспомогательных агрегатов тепловоза. Независимое возбуждение этих генераторов выполнено по системе трёхфазная обмотка – управляемый выпрямитель (Рис. 2.30). Формирование тока возбуждения в таких системах осуществляется при помощи двух независимых однополупериодных управляемых выпрямителей трёхфазного напряжения (Рис. 2.31).

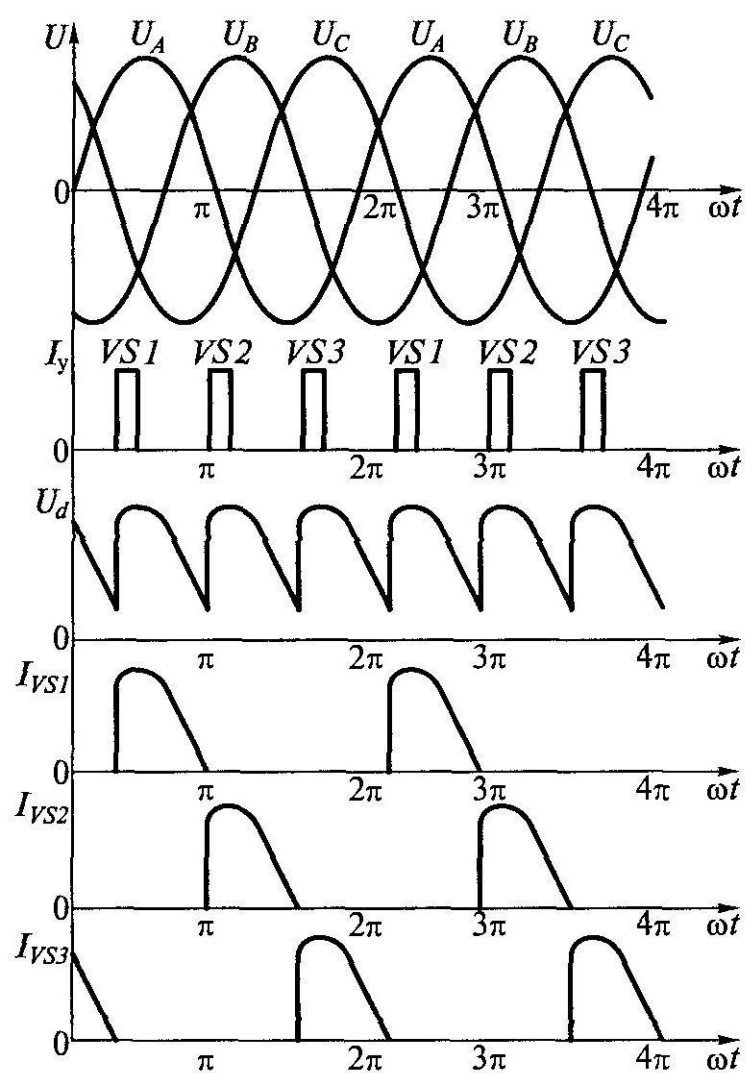


Рис. 2.31 Графики изменения напряжения и токов в однополупериодном управляемом выпрямителе трёхфазного напряжения.

В некоторых случаях применяются мостовые управляемые выпрямители трёхфазного напряжения (Рис. 2.32).

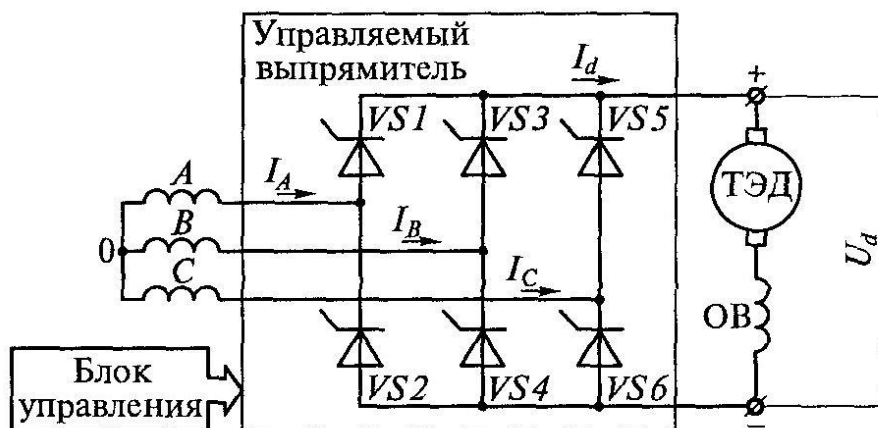


Рис. 2.32 Мостовой управляемый выпрямитель трёхфазного напряжения
ТЭД – тяговый электродвигатель.

3. Системы управления преобразователями.

3.1 Основные элементы систем управления.

Основными элементами систем управления являются полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы.

Классификация микросхем по виду обрабатываемого сигнала.

1. Аналоговые.
2. Цифровые.
3. Аналого-цифровые.

Аналоговые микросхемы — входные и выходные сигналы изменяются по закону непрерывной функции в диапазоне от положительного до отрицательного напряжения питания.

Цифровые микросхемы — входные и выходные сигналы могут иметь два значения: логический ноль или логическая единица, каждому из которых соответствует определённый диапазон напряжения.

Аналого-цифровые микросхемы совмещают в себе формы цифровой и аналоговой обработки сигналов.

3.2 Устройства формирования импульсов.

Мультивибратор — генератор сигналов электрических прямоугольных колебаний с короткими фронтами.

Термин предложен голландским физиком ван дер Полем, так как в спектре колебаний мультивибратора присутствует множество гармоник — в отличие от генератора синусоидальных колебаний («моновибратора»). Мультивибратор был описан Икклзом и Джорданом в 1918 году. Мультивибратор является одним из самых распространённых генераторов импульсов прямоугольной формы, представляющий собой двухкаскадный резистивный усилитель с глубокой положительной обратной связью.

В электронной технике используются различные варианты схем мультивибраторов, которые различаются между собой

- по типу используемых элементов (ламповые, транзисторные, тиристорные, микроэлектронные),
- режиму работы (автоколебательные, ждущие синхронизации),
- видам связи между усилительными элементами,
- способам регулировки длительности и частоты генерируемых импульсов.

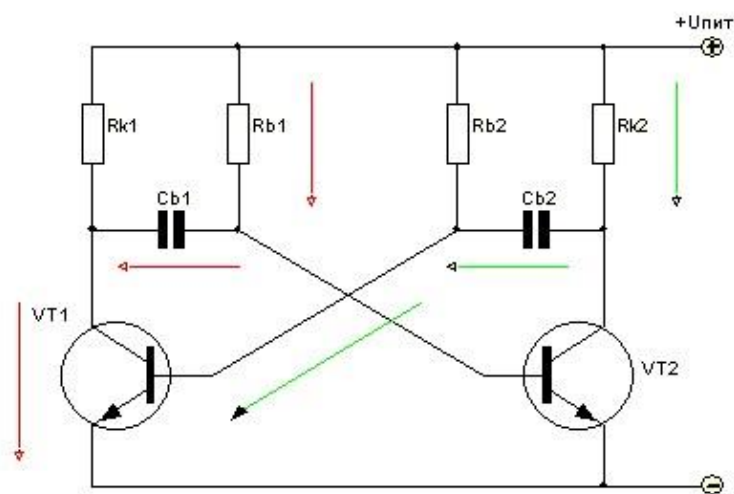


Рис. 3.1 Симметричный мультивибратор на транзисторах.

Симметричный мультивибратор на транзисторах.

Симметричный мультивибратор (Рис. 3.1) генерирует прямоугольные импульсы, параметры которых зависят от резисторов $Rb1$ и $Rb2$ и конденсаторов $Cb1$ и $Cb2$. Rb и Rk ($Rk < Rb$). Нагрузку подключают к коллектору $VT1$, или $VT2$.

Симметричный мультивибратор является автогенератором, то есть для начала генерации необходимо только включение питания. После включения питания, транзистор $VT2$ закрыт, $VT1$ открыт, конденсатор $Cb2$ разряжен, а $Cb1$ заряжен, но не полностью, а полярность этого заряда такова, что к базе $VT1$ приложено отрицательное напряжение (какой транзистор открыт, а какой закрыт зависит от параметров самих транзисторов).

Дальше конденсатор $Cb1$ продолжает заряжаться от источника питания через резистор $Rb1$ и транзистор $VT1$, однако, напряжения на нем еще не достаточно, для открывания транзистора $VT2$. И в это же время, конденсатор $Cb2$ заряжается через резистор $Rk2$ и открытый $VT1$. Емкость конденсаторов одинакова, однако, так как $Rk < Rb$, то $Cb2$ заряжается быстрее, чем $Cb1$.

По мере заряда $Cb1$ напряжение на базе $VT2$ растет. И в момент $T1$, напряжение достигает некоторого порога и $VT2$ открывается. $Cb2$ к этому моменту заряжен почти до напряжения питания.

Дальше $VT2$ переходит в активный режим, увеличивается его коллекторный ток и уменьшается напряжение коллектор-эмиттер, что вызывает падение базового тока $VT1$, а это приводит к уменьшению коллекторного тока $VT1$, т. к. сопротивление коллектор-эмиттер увеличивается. Поэтому ток начинает течь через $Rk1$ в базу $T2$, что увеличивает его базовый ток. Транзистор $VT1$ закрывается. Процесс проходит практически мгновенно. Однако, мы имеем процесс,

противоположный начальному моменту - $VT1$ закрыт, $VT2$ открыт, $Cb1$ практически разряжен, а $Cb2$ заряжен почти до напряжения питания.

Затем $Cb1$ начинает заряжаться через цепь $Rk1$, $VT2$, а $Cb2$ поддерживает отрицательным напряжением транзистор $VT1$ в закрытом состоянии. И когда $Cb1$ зарядится все повторится с точностью до наоборот и закроется $VT2$. И так до тех пор, пока не отключат питание.

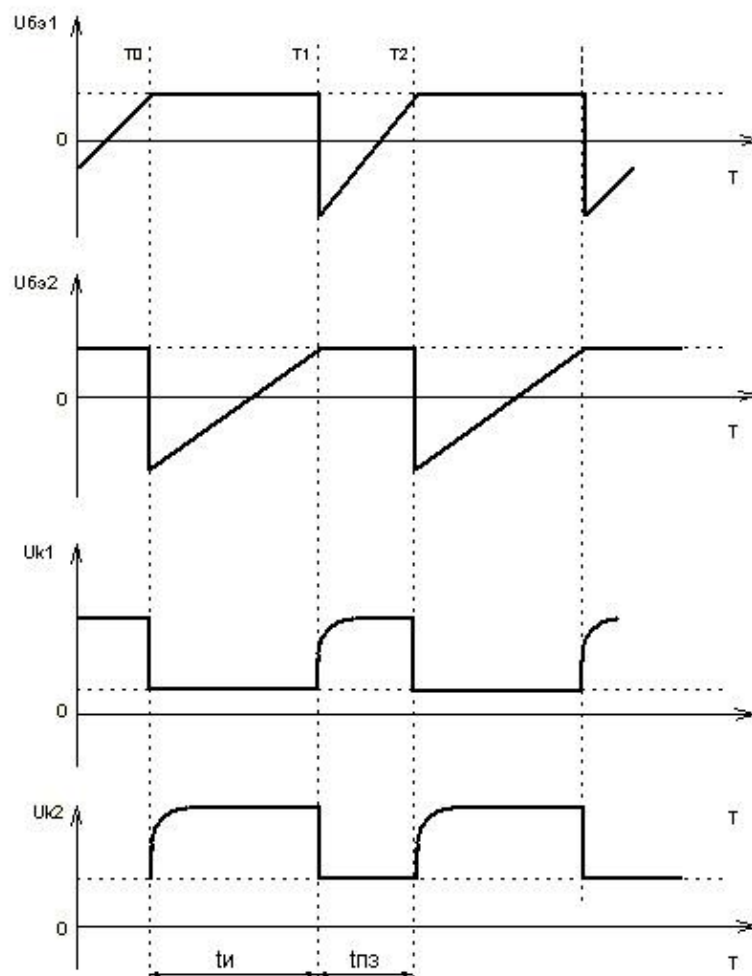


Рис. 3.2 Графики напряжений на мультивибраторе.
 t_i - длительность импульса, определяемая временем заряда конденсатора $C1$,
 $t_{пз}$ - длительность паузы, определяемая временем зарядки $C2$.

Длительность импульса (Рис. 3.2):

$$\xi = (3 \dots 5) Rk2C2 \text{ или } \xi = (3 \dots 5) Rk1C1 \quad (7)$$

в зависимости, с какого транзистора снимать сигнал.

Частота импульсов:

$$f=700/(RbCb) \quad (8),$$

где Rb и Cb - величина базовых резисторов и конденсаторов в килоомах и микрофарадах.

Существует две структуры построения системы управления (СУ):

- одноканальная, где формирование сигналов управления происходит в общем канале, а на выходе канала выполняется распределение импульсов управления по тиристорам. Такая структура используется при большой асимметрии в трехфазных системах. Достоинством одноканальной структуры является: простота системы управления, недостатком - низкое быстродействие и плохое качество стабилизации выходного напряжения выпрямителя.

- многоканальная, в которой все каналы построены по одной структуре. Достоинством многоканальной схемы является: высокое быстродействие и качество стабилизации напряжения в нагрузке, широкий диапазон регулирования. Не допускается использование данной структуры при асимметрии фазных напряжений в трехфазной системе. Эта схема более дорогостоящая по сравнению с одноканальной.

Простейшая система управления выпрямителем (Рис. 3.3).

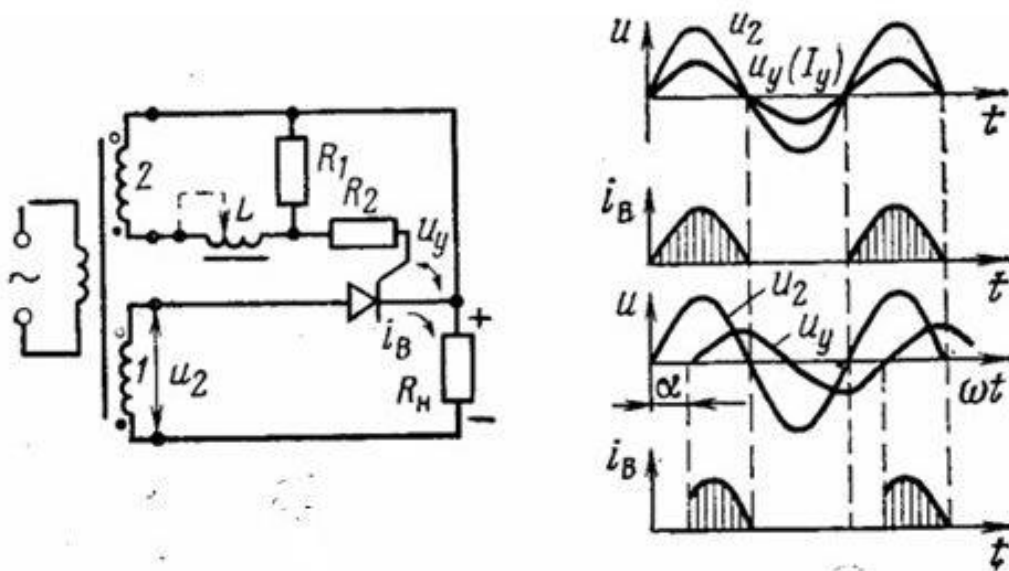


Рис. 3.3 Система управления выпрямителем.

4. Бесконтактные устройства.

4.1 Бесконтактные выключатели и переключатели.

Коммутация тока в цепи электромагнитными пускателями, контакторами, реле, аппаратами ручного управления (рубильниками, пакетными выключателями, переключателями, кнопками и т. д.) осуществляется изменением в широких пределах электрического сопротивления коммутирующего органа. В контактных аппаратах таким органом является межконтактный промежуток. Его сопротивление при замкнутых контактах очень мало, при разомкнутых может быть очень высоким. В режиме коммутации цепи происходит очень быстрое скачкообразное изменение сопротивления меж контактного промежутка от минимальных до максимальных предельных значений (отключение), или наоборот (включение).



Рис. 4.1 Бесконтактный реверсивный пускатель.

Бесконтактными электрическими аппаратами (Рис 4.1) называют устройства, предназначенные для включения и отключения (коммутации) электрических цепей без физического разрыва самой цепи. Основой для построения бесконтактных аппаратов служат различные элементы с нелинейным электрическим сопротивлением, величина которого изменяется в достаточно широких пределах, в

настоящее время это - тиристоры и транзисторы, раньше использовались магнитные усилители.

Достоинства и недостатки бесконтактных аппаратов по сравнению с обычными пускателями и контакторами.

Преимущества:

- не образуется электрическая дуга, оказывающая разрушительное воздействие на детали аппарата; время срабатывания может достигать небольших величин, поэтому они допускают большую частоту срабатываний (сотни тысяч срабатываний в час),

- не изнашиваются механически,

Недостатки:

- они не обеспечивают гальваническую развязку в цепи и не создают видимого разрыва в ней, что важно с точки зрения техники безопасности;

- глубина коммутации на несколько порядков меньше контактных аппаратов,

- габариты, вес и стоимость на сопоставимые технические параметры выше.

Бесконтактные аппараты, построенные на полупроводниковых элементах, чувствительны к перенапряжениям и сверхтокам. Чем больше номинальный ток элемента, тем ниже обратное напряжение, которое способен выдержать этот элемент в непроводящем состоянии. Для элементов, рассчитанных на токи в сотни ампер, это напряжение измеряется несколькими сотнями вольт. Возможности контактных аппаратов в этом отношении неограниченны: воздушный промежуток между контактами протяженностью 1 см способен выдержать напряжение до 30 000 В. Полупроводниковые элементы допускают лишь кратковременную перегрузку током: в течение десятых долей секунды по ним может протекать ток порядка десятикратного по отношению к номинальному. Контактные аппараты

способны выдерживать стократные перегрузки током в течение указанных отрезков времени.

Падение напряжения на полупроводниковом элементе в проводящем состоянии при номинальном токе примерно в 50 раз больше, чем в обычных контактах. Это определяет большие тепловые потери в полупроводниковом элементе в режиме длительного тока и необходимость в специальных охлаждающих устройствах.

Бесконтактные аппараты нельзя заменить контактными в условиях большой частоты срабатываний и большого быстродействия.

Тиристорный однополюсный контактор.

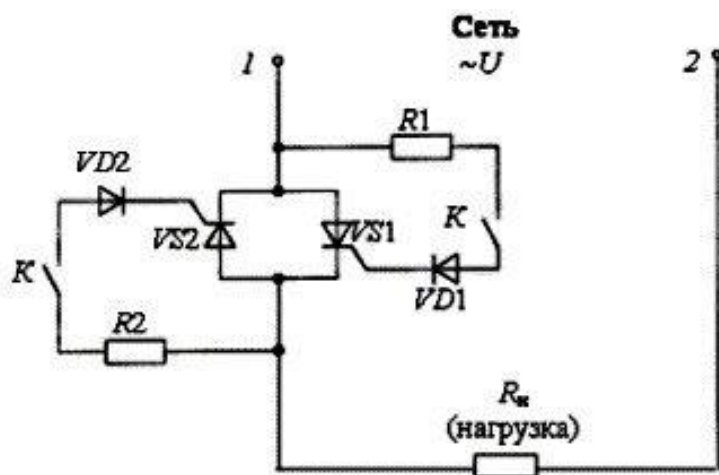


Рис. 4.2 Тиристорный однополюсный контактор.

Для включения контактора (Рис. 4.2) и подачи напряжения на нагрузку должны замкнуться контакты К в цепи управления тиристоров VS1 и VS2. Если в этот момент на зажиме 1 положительный потенциал (положительная полуволна синусоиды переменного тока), то на управляющий электрод тиристора VS1 будет подано через резистор R1 и диод VD1 положительное напряжение. Тиристор VS1 откроется, и через нагрузку Rн пойдет ток. При смене полярности напряжения сети откроется тиристор VS2, таким образом, нагрузка будет подключена к сети

переменного тока. При отключении контактами К размыкаются цепи управляющих электродов, тиристоры закрываются и нагрузка отключается от сети.

Бесконтактные тиристорные пускатели.

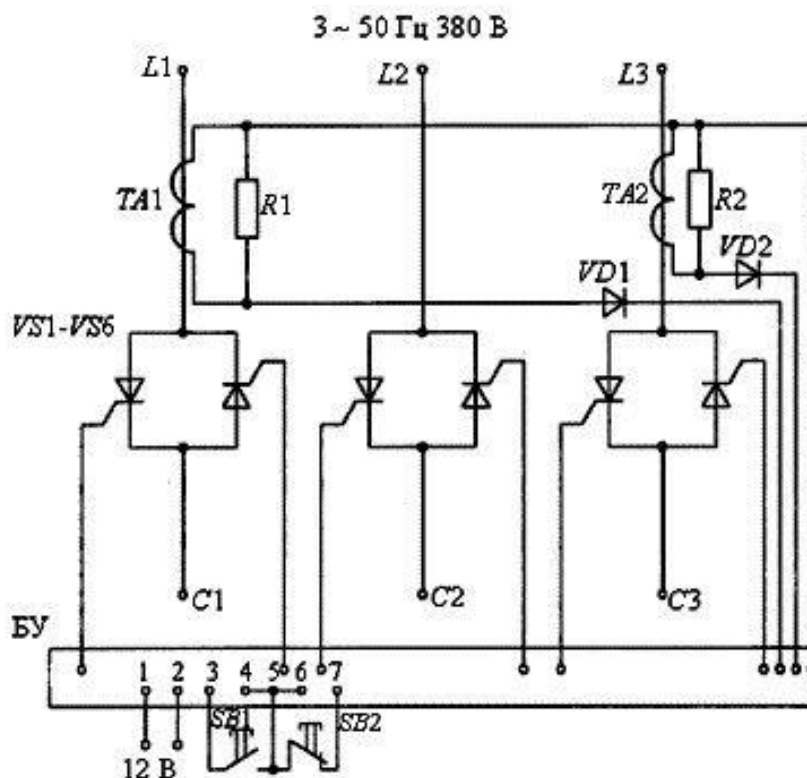


Рис. 4.3 Бесконтактный тиристорный пускатель.

Для включения, отключения, реверсирования в схемах управления асинхронными электродвигателями разработаны тиристорные трехполюсные пускатели (Рис. 4.3) серии ПТ. Пускатель трехполюсного исполнения в схеме имеет шесть тириستоров $VS1, \dots, VS6$, включенных по два тиристора на каждый полюс. Включение пускателя осуществляется посредством кнопок управления $SB1$ «Пуск» и $SB2$ «Стоп». Схема тиристорного пускателя предусматривает защиту электродвигателя от перегрузки, для этого в силовую часть схемы установлены трансформаторы тока $TA1$ и $TA2$, вторичные обмотки которых включены в блок управления тиристорами.

5. Импульсные преобразователи.

5.1 Одноканальные схемы ЧИР.

История развития и области применения преобразователей.

Первыми на электрическом транспорте получили распространение ртутные (игнитронные) выпрямители, применявшиеся на тяговых подстанциях для преобразования тока промышленной частоты в постоянный. Они использовались также для питания тяговых двигателей на первых электровозах переменного тока. До 1960-х годов ртутные выпрямители оставались единственными аппаратами, имевшими массовое распространение.

Ртутные выпрямители имели ряд недостатков, главными из которых были большие габариты и опасность выделения ртутных паров при повреждении корпуса аппарата. По мере появления кремниевых и германиевых вентилей ртутные выпрямительные установки были заменены полупроводниковыми. Полупроводниковые диодные выпрямители до сих пор широко применяются на тяговых подстанциях постоянного тока, электровозах переменного тока, тепловозах с передачей переменного-постоянного тока.

С 1960-х годов предпринимались попытки создания бестрансформаторных преобразователей постоянного тока и инверторов на основе тиристоров, но преобразователи на их основе имели низкую надежность, высокую стоимость и большие габариты, что сдерживало их массовое применение. Сдерживал их распространение и низкий технический уровень большинства эксплуатационных предприятий. Отдельные полупроводниковые приборы имели малое напряжение пробоя и номинальный ток, что приводило к необходимости применения в силовых преобразователях сборок с большим числом приборов. Предлагались схемы ЭПС, в которых тиристорные преобразователи тягового тока использовались совместно

с контактными аппаратами, а иногда и с реостатным регулированием для уменьшения числа ступеней и повышения плавности регулирования, однако они не получили массового применения.

С 1974 года серийно строились электровозы ВЛ80р, на которых тиристорный преобразователь использовался не только для плавного регулирования тока тяговых двигателей, но и был способен работать в режиме инвертора, обеспечивая рекуперацию. На городском транспорте СССР массовое применение тяговых статических преобразователей на основе тириستоров началось только с середины 80-х годов.

Начиная с 2000-х годов в России массово строится подвижной состав ГЭТ и метрополитена с тяговыми преобразователями на основе IGBT-транзисторов, как изменяющих напряжение постоянного тока на коллекторных двигателях, так и автономных инверторов для питания асинхронных тяговых двигателей.

На железной дороге в 1990-х и 2000-х годах испытывались и эксплуатировались опытные образцы и малые серии (например, ЭП10) подвижного состава с преобразователями зарубежного производства на основе вентилей ГТО, но массовое применение тяговых статических преобразователей на современной элементной базе начато только с серийным производством электровозов 2ЭС10 в 2012 году.

Одноканальный ЧИР.

Импульсный регулятор (Рис. 5.1а) состоит из входного фильтра $L\phi C\phi$, электронного (транзисторного или тиристорного) ключа ТК, обратного диода ОД и индуктивности L . В период времени τ , когда транзистор или тиристор открыт, питающее напряжение U подается полностью на якорь двигателя. Его ток i_a увеличивается (Рис. 5.1б). Когда транзистор или тиристор заперт, ток i_a

продолжает проходить через якорь двигателя и обратный диод под действием электромагнитной энергии, запасенной в индуктивностях L_a (индуктивность обмотки якоря) и L цепи якоря. При этом ток i_a уменьшается. Частота следования импульсов при номинальном режиме обычно составляет 200—400 Гц, вследствие чего период T примерно на два порядка меньше постоянной времени цепи якоря. Поэтому за время импульса τ ток в двигателе не успевает значительно возрасти, а за время паузы $T - \tau$ уменьшиться.

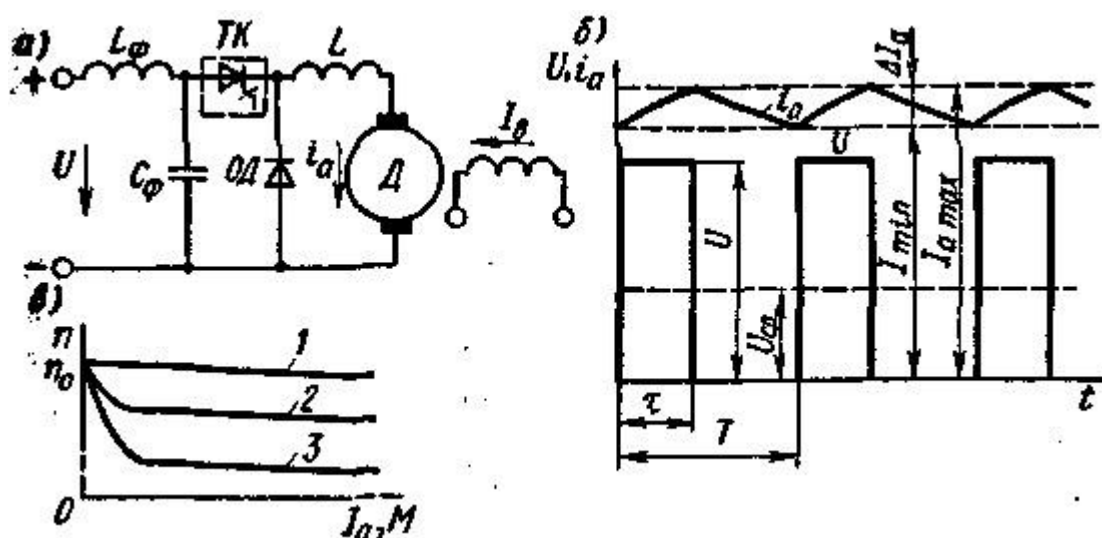


Рис. 5.1 Схема импульсного регулирования двигателя с параллельным возбуждением, графики изменения напряжения и тока и скоростные и механические характеристики.

Среднее значение напряжения, подаваемого на обмотку якоря,

$$U_a = U_{cp} = U\tau/T = \alpha U \quad (9)$$

где $\alpha = \tau / T$ — коэффициент регулирования напряжения, равный относительной длительности включения ключа ТК.

Если параметры схемы выбраны так, что пульсация тока не превышает 5—10 %, то работа двигателя практически не отличается от работы двигателя при постоянном напряжении. Скоростные и механические характеристики двигателя 1, 2 и 3 (Рис. 5.1в), полученные при различных напряжениях, подаваемых на обмотку

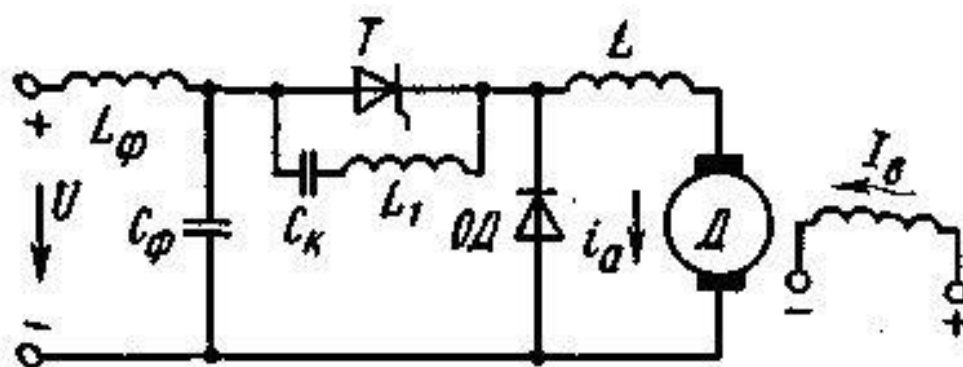
якоря, при таком режиме работы аналогичны соответствующим характеристикам двигателя при изменении питающего напряжения U .

При уменьшении нагрузки двигателя с параллельным возбуждением возрастают пульсации тока якоря, и при некоторой критической нагрузке наступает режим прерывистых токов.

Среднее напряжение $U_{ср}$, подаваемое на двигатель, регулируют путем изменения продолжительности периода T между подачей управляющих импульсов на электронный ключ ТК при $\tau = \text{const}$ (частотно-импульсное регулирование).

Импульсное управление двигателями малой мощности и микродвигателями осуществляют с помощью импульсных регуляторов, в которых коммутирующими элементами являются транзисторы.

Для управления двигателями средней и большой мощности применяют регуляторы с тиристорами. Так как тиристор в отличие от транзистора является не полностью управляемым вентилем, то для запираания его применяют различные схемы искусственной коммутации, обеспечивающие прерывание проходящего тока путем подачи на его электроды обратного напряжения.



5.2 Схемы включения двигателя через тиристорный импульсный прерыватель при частотно - импульсном регулировании.

Схему (Рис. 5.2) используют при частотно-импульсном регулировании. Тиристор T отпирается путем подачи импульсов тока управления на его

управляющий электрод, запирается с помощью коммутирующего конденсатора C_k . Перед включением тиристора конденсатор C_k заряжен до напряжения U . При подаче отпирающего импульса на управляющий электрод тиристор T открывается и через якорь двигателя начинает проходить ток i_a . Одновременно происходит перезаряд конденсатора C_k через резонансный контур, содержащий индуктивность L_1 . После окончания перезаряда, когда полярность конденсатора изменяется, к тиристору прикладывается обратное напряжение. При этом он восстанавливает свои запирающие свойства и прохождение тока через тиристор прекращается. в дальнейшем конденсатор C_k разряжается через нагрузку, и схема оказывается подготовленной для последующего отпирания тиристора.

5.2 Многоканальные схемы ЧИР.

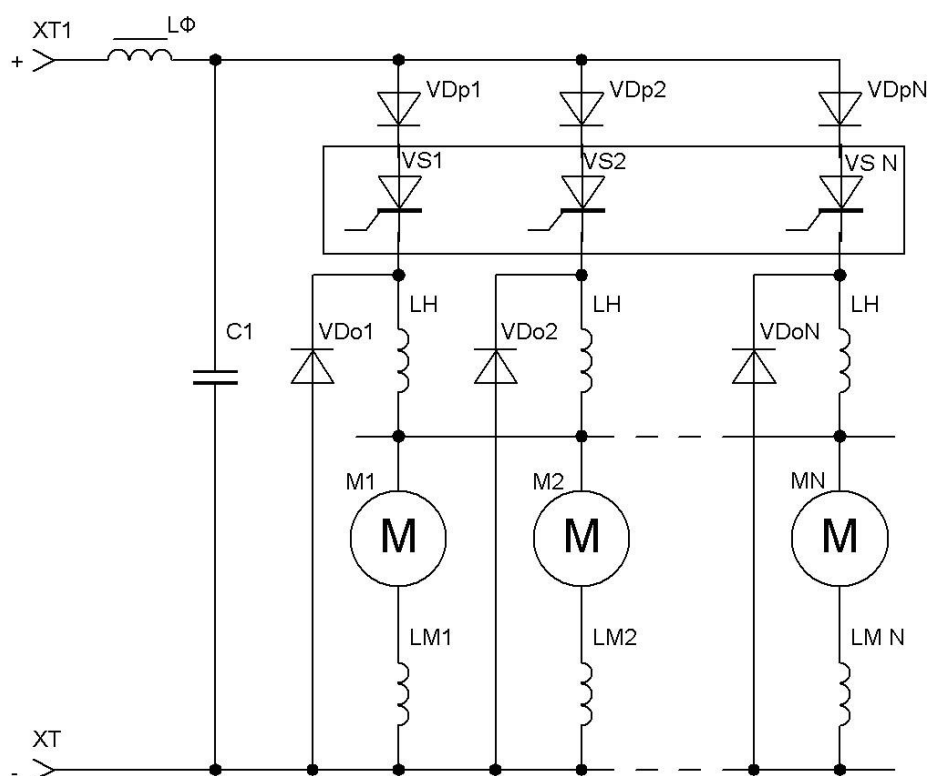


Рис. 5.3 Многоканальная схема МЧИР.

Импульсные преобразователи могут быть многоканальными (Рис. 5.3). Многоканальный преобразователь, схема которого приведена на рисунке, состоит из N одноканальных преобразователей, работающих на общую нагрузку и получающих питание от сети постоянного тока через общий сглаживающий фильтр. Посредством системы управления осуществляется поочерёдное включение и отключение отдельных каналов – тиристоров (VS_1 ; VS_2 ; VS_N) с одним и тем же сдвигом во времени по отношению друг к другу. Вследствие этого образуется многоканальная система преобразования, в которой частота пульсаций входного тока в N раз больше, чем в отдельном канале. Это существенно облегчает сглаживание пульсаций тока как в контактной сети, так и в тяговом двигателе и позволяет уменьшить тяговую мощность, а тем самым массу и габариты входного

фильтра. В многофазной системе можно избежать параллельного включения вентиля, затрудняющего распределение нагрузок между ними, выделяя каждую их параллельную группу в самостоятельную фазу. Неуправляемые вентили $VD0$ служат для устранения взаимного влияния сигналов друг на друга.

Многоканальные преобразователи используются на опытных электровозах ВЛ14.

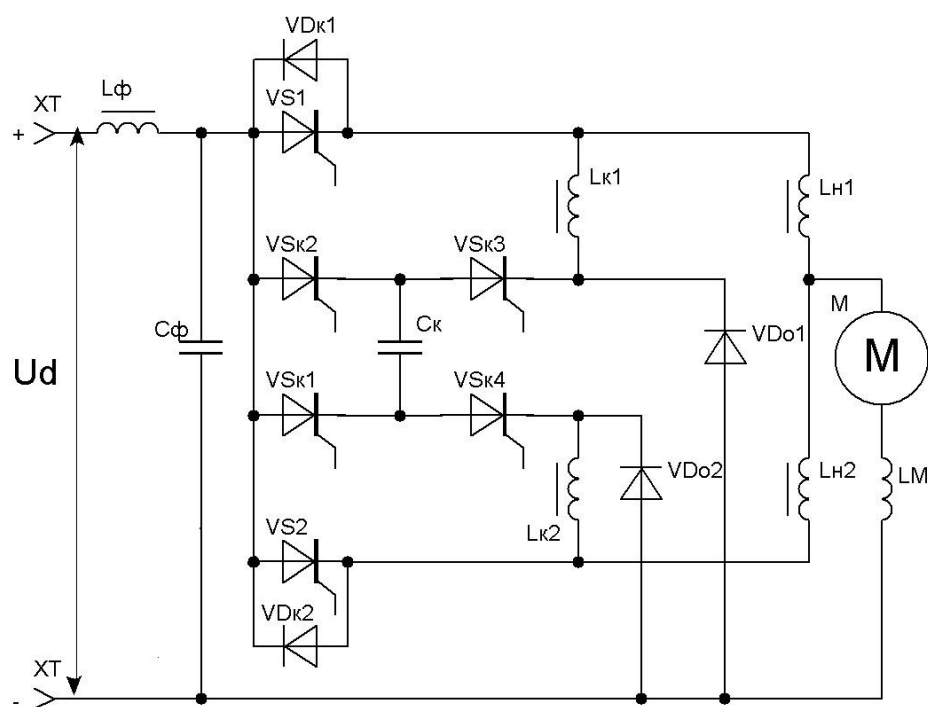


Рис. 5.4 Двухканальная схема.

В двухканальной схеме (Рис. 5.4) схеме имеется общий входной фильтр L_f , C_f , а система управления обеспечивает фиксированный сдвиг по времени моментов включения и выключения линейных тиристоров $VS1$, $VS2$.

В моменты включения и отключения линейных тиристоров двух каналов $VS1$ и $VS2$ сдвинуты по времени на полупериод $T/2$. Конденсатор C_k предварительно заряжается через открытые коммутирующие тиристоры V_{Sk1} и V_{Sk3} или V_{Sk2} и V_{Sk4} .

В процессе работы если включен линейный тиристор VS , для его выключения через необходимый интервал времени после начала протекания тока включаются коммутирующие тиристоры V_{Sk1} и V_{Sk3} , при этом конденсатор C_k перезаряжается и приобретает обратную полярность. Аналогично выключается тиристор второго канала $VS2$ с помощью коммутирующих чётных тиристоров V_{Sk2} и V_{Sk4} . Регулирование напряжения достигается изменением моментов включения указанных линейных тиристоров в каждый полупериод.

В этой схеме применены тиристорные преобразователи, состоящие из линейного и коммутирующего тиристоров VS и V_{Sk} соответственно, коммутирующего конденсатора C_k и перезарядных цепочек ($L_{k1} - VD_{o1}$).

Независимо от системы импульсных преобразователей различают два способа их применения на подвижном составе.

В первом из них преобразователь включают только в периоды пуска и электрического торможения. После достижения напряжения на двигателях, равного или близкого напряжению контактной сети, импульсный преобразователь шунтируется контактором, и двигатели присоединяются непосредственно к сети.

При втором способе импульсные преобразователи остаются включенными в течение всего рабочего времени тяговых двигателей; при этом номинальное напряжение цепи двигателей может отличаться от тяговой сети. Преобразователь получается более тяжёлым и дорогим.

5.3 Широтно-импульсное регулирование.

Наиболее широкое применение из всех видов импульсного регулирования для управления двигателями постоянного тока нашло широтно-импульсное регулирование (ШИР)напряжения (Рис. 5.5).

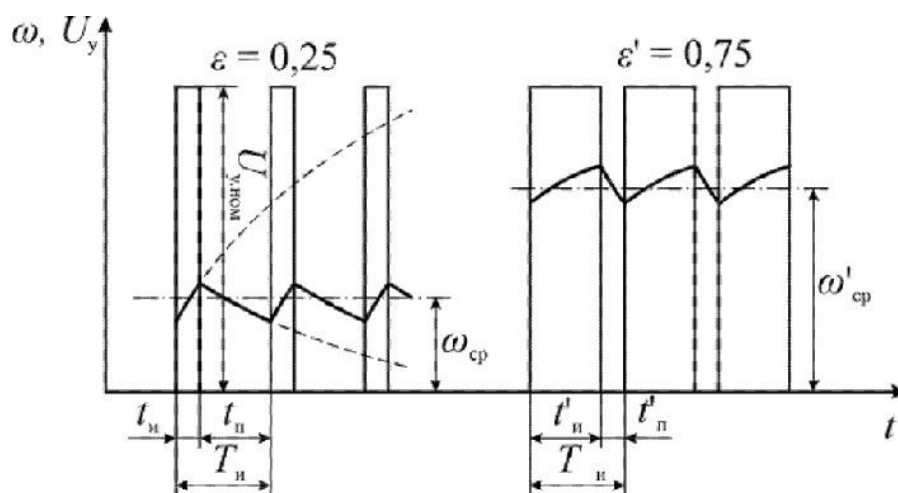


Рис. 5.5 Широтно-импульсное регулирование.

При импульсном способе к двигателю подводятся импульсы неизменного по амплитуде напряжения управления $U_{y.ном}$, в результате чего его работа состоит из чередующихся периодов разгона и торможения. Если эти периоды малы по сравнению с полным временем разгона и остановки ротора, то угловая скорость ротора не успевает к концу каждого периода достигать установившихся значений и установится некоторая средняя угловая скорость $\omega_{ср}$. Значение $\omega_{ср}$ при неизменных моменте нагрузки и напряжении возбуждения однозначно определяется относительной продолжительностью импульсов ε :

$$\varepsilon = t_{и} / T_{и}, \quad (10)$$

где $t_{и}$ - длительность импульса; $T_{и}$ - период.

С увеличением относительной продолжительности импульсов ($\varepsilon' > \varepsilon$) угловая скорость ротора растет ($\omega'_{ср} > \omega_{ср}$). В период паузы $t_{п}$ ротор обязательно должен

тормозиться. Если это условие не будет выполняться, то угловая скорость ротора будет непрерывно увеличиваться, пока не достигнет значения угловой скорости х.х., так как во время импульса угловая скорость будет возрастать, а во время паузы – оставаться практически неизменной.

С ростом частоты управляющих импульсов амплитуда колебаний скорости уменьшается; среднее значение угловой скорости остается при этом неизменным.

В реальных схемах импульсного управления режим работы двигателя в одном диапазоне моментов и угловых скоростей ближе к режиму непрерывного тока, в другом – к режиму прерывистого тока. Граница перехода из одного режима в другой показана пунктирной линией. С целью обеспечения линейности регулировочных характеристик диапазон прерывистых токов стремятся сузить.

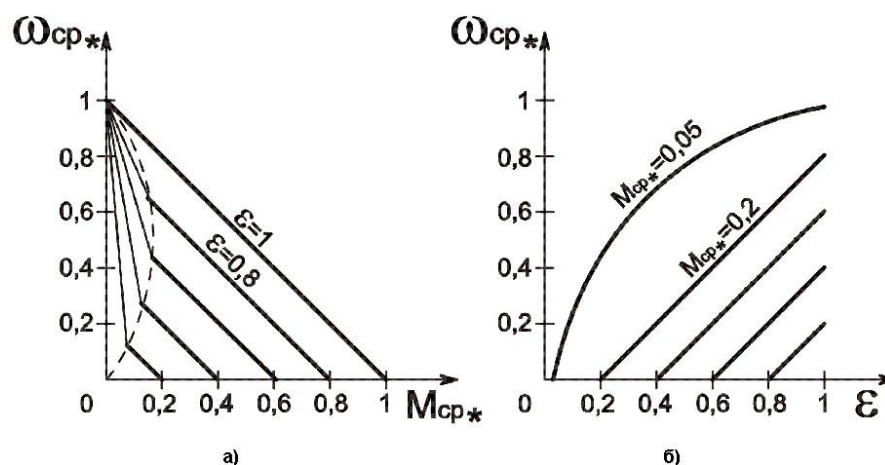


Рис. 5.6 Механические (а) и регулировочные (б) характеристики.

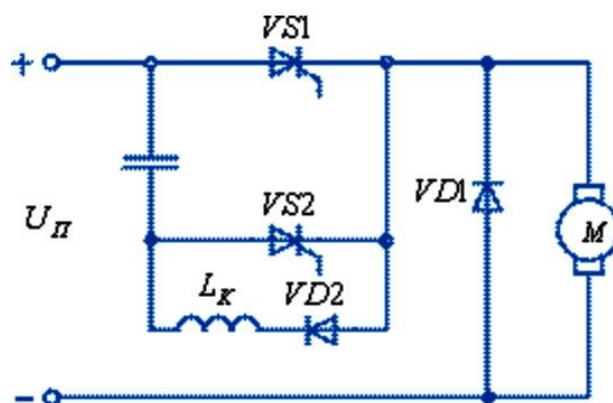


Рис. 5.7 Одноканальный ШИП с тиристорным ключом.

Основные преимущества импульсного способа (Рис. 5.6) управления – меньшее значение средней потребляемой двигателем мощности; возможность управления при нерегулируемом источнике постоянного тока, например, бортовой аккумуляторной батарее. Однако аппаратура управления в общем случае более сложная, чем при непрерывном управлении.

Одноканальный ШИП с тиристорным ключом (Рис. 5.7). Функцию ключа выполняет $VS1$, а $VS2$ служит для управления процессом коммутации $VS1$. Работа: конденсатор C заряжен через $VS2$ с (+) на верхней обкладке. При подаче импульса на $VS1$ на двигателе M появляется импульс напряжения U_n и через $VS1$ протекает ток нагрузки. По контуру $C-VS1-VD2-L$ (реактор) проходит перезаряд C до (+) на нижней обкладке. $VD2$ запирает C от дальнейшего перезаряда. Сигналом для закрывания $VS1$ служит импульс, подаваемый на $VS2$. Через открытые $VS1$ и $VS2$ разряжается конденсатор и своим током запирает $VS1$, а затем через $VS2$ дозаряжается до (+) на верхней обкладке и запирает $VS2$. Цикл повторяется.

Достоинства ШИП:

- большая полоса пропускания;
- большая линейность характеристики

Поэтому ШИП применяются для эл. приводов с высоким быстродействием и точностью регулирования.

Недостатки: широтно-импульсная модуляция (ШИМ) выходного напряжения вызывает дополнительные потери от пульсаций рабочего тока и процессов коммутации вентилей.

5.4 Принцип работы, схемные решения ШИР.

Широтно-импульсные преобразователи состоят из силовой части, выполняемой на транзисторах, тиристорах или запираемых тиристорах (Рис. 5.8), и схемы управления; питаются они от сети постоянного тока.



Рис. 5.8 Классификация основных типов широтно-импульсных преобразователей.

На первых этапах применения полупроводниковых ШИП выбор транзисторной или тиристорной элементной базы основывался на следующих соображениях. Транзисторные ШИП имеют относительно малую мощность, невысокую перегрузочную способность по току ($2-2,5 I_{ном}$), но позволяют реализовать частоту импульсов до 5 кГц. Тиристорные ШИП более мощные и лучше выдерживают перегрузки по току и напряжению, но позволяют работать с импульсами частотой не более 1 кГц и требуют более сложной схемы управления.

В настоящее время подход к выбору силовой элементной базы ШИП изменился из за двух причин.

- созданы силовые модули на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором, по мощности и перегрузочной способности не уступающие тиристорным и работающие на частотах до 10кГц.

- выпуск мощных запираемых тиристоров, которые в отличие от обычных тиристоров можно и закрыть подачей соответствующего потенциала на управляющий электрод.

Принцип работы транзисторного ШИП основан на использовании транзисторов в ключевом режиме: транзистор пропускает ток при подаче управляющего сигнала и перестает его пропускать после снятия сигнала. Транзисторные ШИП можно считать идеальными звеньями с бесконечно малой инерционностью и бесконечно малым внутренним сопротивлением. Поэтому для анализа систем ШИП-Д пользуются выражениями механической характеристики и передаточной функции, полученной непосредственно для двигателя.

Принцип работы ШИП на запираемых тиристорах не имеет существенных отличий от работы транзисторного ШИП.

Принцип работы ШИП с обычными тиристорами, в отличие от транзисторных, имеет две особенности.

- в состав тиристорного ШИП входит схема искусственной коммутации, которая должна при питании тиристора от сети постоянного тока в требуемый момент времени изменить полярность на аноде и катоде и запереть тиристор (связано это с тем, что тиристор после отпирания теряет управляемость и запереть его, подачей сигнала на управляющий электрод, невозможно).

- запираение тиристора требует определенного времени, что не позволяет реализовать относительную продолжительность импульсов ϵ , достаточно близкую к нулю.

Системы с тиристорными ШИП.

В схемах искусственной коммутации, которые подразделяются на схемы параллельного и последовательного типов, для запираания тиристоров обычно используется заряд, накапливаемый конденсатором.

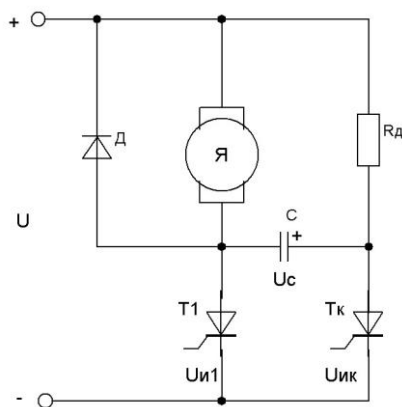


Рис. 5.9 Схема с параллельной коммутацией.

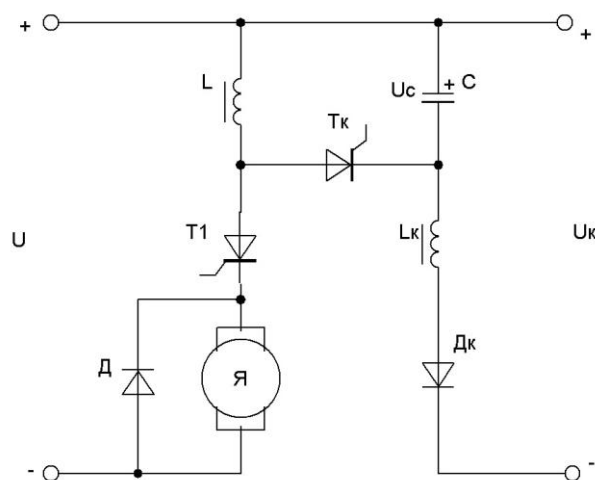


Рис. 5.10 Схема с последовательной коммутацией.

В схемах с параллельной коммутацией (Рис. 5.9) конденсатор C подключен непосредственно к основному тиристор $T1$, который отпирается импульсами управления $U_{и1}$, следующими с требуемым периодом $T_{и}$. Конденсатор C заряжается через добавочное сопротивление R_d и открытый тиристор $T1$ до напряжения $U_c \neq U$. Для запираания тиристора $T1$ – завершения подачи силового

импульса на якорь двигателя $Я$, в момент времени t_i подается управляющий импульс $U_{ик}$ на управляющий электрод вспомогательного тиристора T_k . Тиристор T_k отпирается, конденсатор C начинает разряжаться и напряжение U_c , приложенное к тиристорам $T1$ в запирающем для него направлении, запирает тиристор $T1$. При спаде разрядного тока до значения, меньшего удерживающего тока тиристора, запирается и тиристор T_k .

В схемах с последовательной (Рис. 5.10) коммутацией последовательно с якорем двигателя и основным тиристором $T1$ включен дроссель L . Коммутирующая цепь, состоящая из конденсатора C , дополнительного дросселя L_k и диода D_k , подключается к источнику постоянного тока с напряжением U_k . Наличие в схеме колебательных контуров LC и L_kC обеспечивает заряд конденсатора C до напряжения $U_c > U_k$. При подаче управляющего импульса на вспомогательный тиристор T_k он открывается и возникает колебательный контур LC , в котором начинает протекать ток разряда конденсатора. В дросселе L возникает ЭДС самоиндукции, значение которой в первый момент времени равно U_c , а направление – противоположно току. Потенциал анода тиристора $T1$ становится ниже потенциала катода, и тиристор запирается. Затем в результате колебательных процессов, происходящих в колебательных контурах LC и D_kL_kC , запирается тиристор T_k и заряжается конденсатор C .

Сравнение схем с параллельной и последовательной коммутацией показывает, что в схемах с последовательной коммутацией время записания силовых тириستоров меньше за счет наличия колебательного контура. Однако наличие дросселя L в силовой цепи приводит к росту постоянных времени системы ШИП-Д. Преимуществом схем с последовательной коммутацией является то, что заряд конденсатора происходит во время паузы в силовой цепи. Поэтому длительность силового импульса t_i можно снижать до значений, близких к нулю,

не опасаясь того, что конденсатор не успеет зарядиться до требуемого напряжения. Это позволяет расширить диапазон регулирования в область малых скоростей, вплоть до нуля. Выбор схемы зависит от требований к системе ШИП-Д.

Рассмотренные схемы ШИП были нереверсивными, реверсивные ШИП имеют двойной комплект ключевых элементов, включенных наиболее часто по мостовой схеме.

5.5 Схемы ШИР при рекуперативном и реостатном торможении.

Импульсное управление позволяет осуществить плавное регулирование скорости при электрическом торможении.

При контакторно – реостатном торможении управление возможно только при независимом или смешанном возбуждении тяговой машины. ЭДС тяговой машины должна превышать напряжение контактной сети.

При рекуперативном торможении импульсное управление можно осуществить даже если ЭДС тяговой машины меньше напряжения сети (чаще при двигателях с последовательным возбуждением).

Схема для рекуперативного торможения (Рис. 5.11).

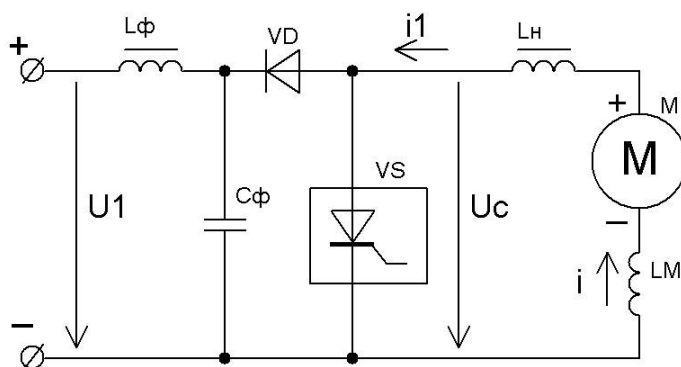


Рис. 5.11 Схема для рекуперативного торможения.

Реактор L_H сглаживает пульсации тока в цепи ТЭД, диод VD препятствует протеканию тока из контактной сети в цепь ТЭД, когда напряжение ТЭД меньше напряжения контактной сети.

Если VS включен, то создаётся контур тока ТЭД: двигатель M – реактор L_H – ключ VS . Возрастает запас электромагнитной энергии контура, которая в основном сосредоточена в реакторе L_H . В этот момент $i_1 = 0$. Когда VS выключается, то ток

двигателя начинает уменьшаться, а ЭДС двигателя складывается с ЭДС самоиндукции, обусловленной индуктивностью реактора и обмоток двигателя, и в сумме превышает напряжение контактной сети. Ток двигателя протекает в контактную сеть даже при ЭДС двигателя меньшей, чем напряжение сети.

Среднее напряжение и ток ТЭД, работающего в генераторном режиме:

$$U = U_1(1 - \alpha / T) \quad (11)$$

где T период следования управляющих импульсов; α длительность управляющих импульсов.

$$I = I_1 \cdot T / (T - \alpha). \quad (12)$$

Т. о. регулирование напряжения и силы тока при импульсном регулировании можно производить изменением отношения α / T . В ШИР $T = \text{const}$, поэтому регулирование производится изменением длительности α .

В этой схеме напряжение U ТЭД должно быть меньше напряжения контактной сети U_1 . Если не выполнить это условие, то рекуперация будет невозможна, так как при работе ТЭД последовательного возбуждения в генераторном режиме параллельно с контактной сетью они будут электрически неустойчивы. При независимом возбуждении, когда сумма напряжений последовательно соединённых тяговых машин будет больше напряжения контактной сети, рекуперацию осуществляют без импульсного преобразователя. Когда сумма напряжений этих машин станет меньше напряжений контактной сети, вступает в работу импульсный преобразователь.

При импульсном регулировании ТЭД рекуперативное торможение возможно до весьма низких частот вращения машин, т. е. малых ЭДС. При снижении частоты вращения необходимо уменьшить отношение $\lambda = \alpha / T$, уменьшая время проводящего состояния ключа VS .

Схема для реостатного торможения (Рис. 5.12).

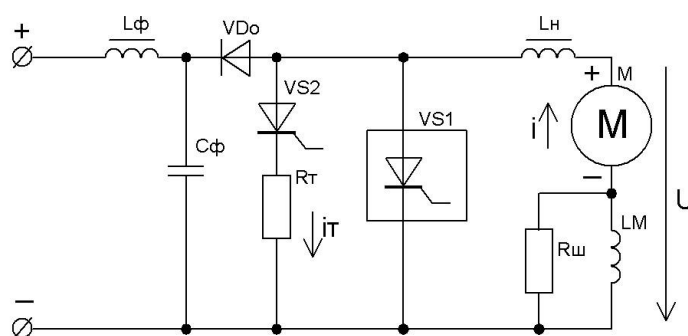


Рис. 5.12 Схема для реостатного торможения.

При реостатном торможении преобразователь не присоединяется к питающей сети, а замыкается на тормозной резистор R_t .

При замыкании ключа $VS1$ для тягового двигателя создаётся контур, состоящий из ключа $VS1$, обмоток тягового двигателя и реактора L_h . Из-за малого сопротивления контура можно считать его короткозамкнутым, поэтому большой ток протекает через обмотку возбуждения LM тягового двигателя и происходит её интенсивное самовозбуждение. Из-за большого тока в контуре увеличивается запас электромагнитной энергии (в основном в реакторе L_h). Ток, поступающий от двигателя в тормозной цилиндр, равен нулю.

При выключении тиристора $VS1$ ток тягового двигателя уменьшается, поэтому сумма его ЭДС и ЭДС самоиндукции становится достаточной для поддержания тока в тормозном резисторе R_t . Тормозной резистор в этот момент вводится в работу включением тиристора $VS2$ и одновременно выключением тиристора $VS1$ воздействием обратного напряжения. Тормозной ток i_t , протекающий через тормозной резистор, получается прерывистым, так как R_t включается между прерывателем и фильтром.

При импульсном регулировании реостатное торможение используется, преимущественно, в качестве замещающего рекуперативное. Замещение

осуществляется в случае отсутствия на фидерной зоне приёмников для обеспечения необходимого тормозного эффекта.

При нагрузке тяговой сети, недостаточной для приёма всей энергии, рекуперированной тяговым двигателем, повышается напряжение на конденсаторе фильтра. Вследствие этого срабатывает система управления, вырабатывающая управляющий импульс тиристора $VS2$, подключающего тормозной резистор R_t . Тем самым рекуперативное торможение замещается реостатным.

При очередном включении тиристора $VS1$ под действием обратного напряжения выключается тиристор $VS2$. Он может включиться в следующих циклах, только недостаточна мощность потребителей на данной фидерной зоне. Если же нагрузка достаточна для восприятия энергии рекуперации, напряжение не повышается, не включается тормозной резистор R_t , и, следовательно, восстанавливается рекуперативное торможение.

Значение средних токов и напряжений следующее:

$$I_1 = I (1 - \lambda) \quad (13)$$

$$U_1 = I \cdot R_t (1 - \lambda) \quad (14)$$

поэтому для поддержания неизменного тормозного тока и тормозной силы следует изменять величину $1 - \lambda$.

Импульсное регулирование ТЭД даёт возможность получить любые тяговые и тормозные характеристики. Импульсное регулирование применяется на электровозах ЭР200, ЧС2Т, ЧС200, ЧС7, электропоезде «Спутник» и других.

Для импульсного регулирования предельными режимами являются:

- для ЧИП ограничения по мощности преобразователя и максимальной частоте,
- для ШИП ограничения по наименьшему коэффициенту заполнения импульсного цикла.

Ограничение по коэффициенту заполнения импульсного цикла можно устранить, если применять комбинированный способ регулирования, переходя с широтно – импульсного преобразования на частотно – импульсное при малых напряжениях.

6. Инверторы.

6.1 Зависимые инверторы.

Инвертирование это преобразование постоянного тока в переменный. Существует два типа инверторов: ведомые и автономные. Ведомые (зависимые) инверторы (ВИ) работают на сеть, в которой есть другие источники электроэнергии. Коммутации вентиля в них осуществляются за счет энергии этой сети. Частота на выходе ВИ равна частоте сети, а напряжение – напряжению сети. Ведомые инверторы применяются, когда нужно отдать механическую энергию, запасенную в маховых массах электродвигателя и рабочей машины, обратно в сеть. Торможение электропривода, осуществляемое таким образом, является наиболее энергетически эффективным. Количество возвращаемой энергии может быть велико.

Автономные инверторы (АИ) это инверторы, которые работают на сеть, в которой нет других источников электроэнергии. Коммутации вентиля в них осуществляются благодаря применению полностью управляемых вентиля или устройств искусственной коммутации. Частота на выходе АИ определяется частотой управления, а напряжение – параметрами нагрузки и системой регулирования. Автономные инверторы применяются для получения регулируемой частоты в электроприводах переменного тока.

Однополупериодный инвертор (Рис. 6.1).

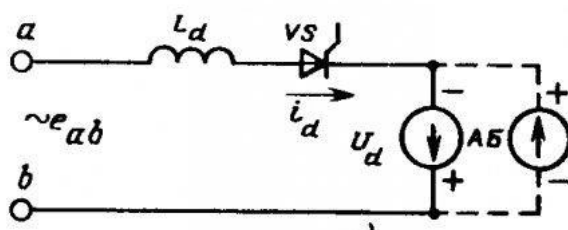


Рис. 6.1 Однополупериодный инвертор.

Допущения при анализе схемы:

-элементы схемы идеальные

-внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи АБ равно нулю.

Выпрямительный режим. Если вывод «плюс» батареи АБ соединен с катодом тиристора (штриховая линия), то схема работает в выпрямительном режиме на нагрузку в виде против-ЭДС. В этом режиме включение тиристора VS возможно при условии превышения ЭДС сети, задаваемой аккумуляторной батареей. При подаче на тиристор управляющего импульса в момент определяемый углом управления α , тиристор включается и из сети в батарею АБ начинает поступать ток i_d . Благодаря сглаживающему реактору L_d ток будет плавно изменяться во времени:

- увеличиваясь, пока $u_{ab} > U_d$

- уменьшаясь при $U_d > u_{ab}$.

В момент равенства заштрихованных площадей (Рис. 6.2) ток i_d становится равным нулю. Тиристор VS выключается. В результате чего батарея АБ будет заряжаться выпрямленным током i_d (ток i_d направлен навстречу ЭДС).

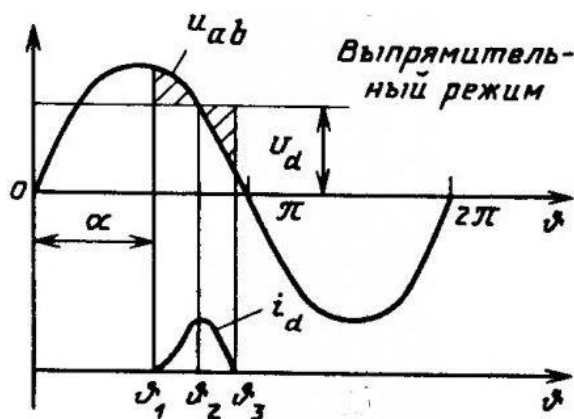


Рис. 6.2 Выпрямительный режим.

Инверсный режим (Рис. 6.3). Для перевода схемы в инверторный режим необходимо переключить тиристор или батарею так, чтобы катод тиристора был соединен с выводом «минус» батареи. Передача энергии от одного источника к

другому происходит тогда, когда ток от отдающего источника направлен навстречу ЭДС источника, принимающего эту энергию. В нашем случае передача энергии в сеть от аккумулятора происходит, когда ЭДС сети e_{ab} направлена навстречу току.

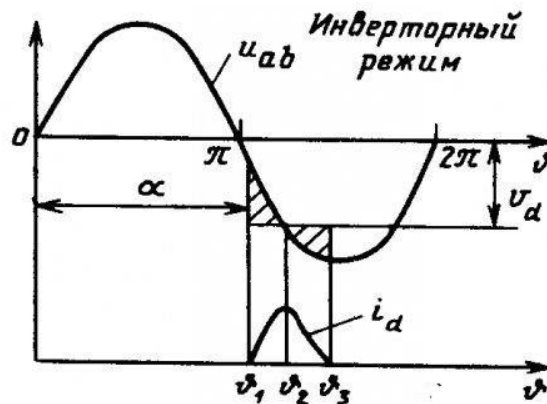


Рис. 6.3 Инверсный режим.

Если в момент ω_1 на тиристор подать управляющий импульс, то тиристор включится, поскольку вплоть до момента ω_2 напряжение $u_{ab} < U_d$ (по абсолютному значению). В цепи начнет протекать ток противоположный по знаку напряжению сети u_{ab} . Наличие в схеме сглаживающего реактора ограничивает скорость нарастания этого тока. За счет энергии, накапливаемой в реакторе, ток продолжает протекать через тиристор после того, как напряжение u_{ab} по абсолютному значению будет больше напряжения U_d и станет равным нулю в момент ω_3 . Что соответствует равенству заштрихованных областей.

Схема однополупериодного инвертора из-за плохих технико-экономических показателей не нашла распространения.

Двухполупериодный обратимый вентильный преобразователь (Рис. 6.4).

Может работать в выпрямительном и инверторных режимах состоит из двух мостов $V1$ и $V2$ со встречным включением вентилей. При работе преобразователя в выпрямительном режиме включен мост $V1$ (ток i_d показан сплошными стрелками), а при работе в инверторном режиме — мост $V2$ (ток i_d показан

штриховыми стрелками). На тиристоры другого моста не подаются управляющие импульсы, и он не проводит ток.

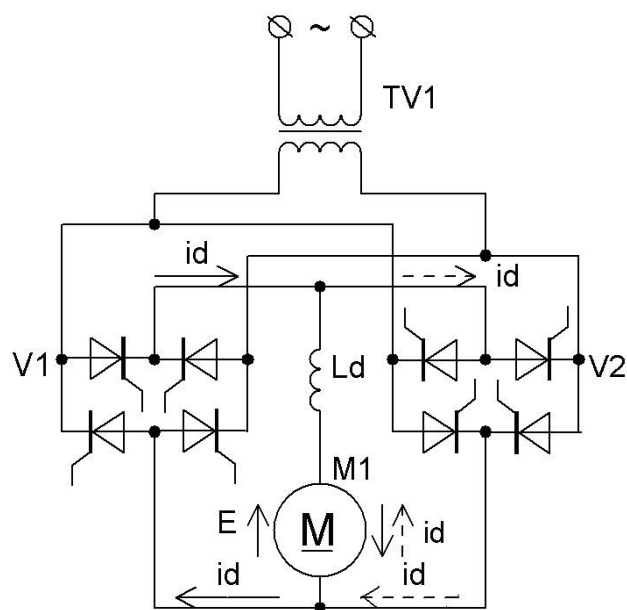


Рис. 6.4 Двухполупериодный обратимый вентильный преобразователь.

При использовании такого преобразователя не требуется изменять полярность источника постоянного тока в случае перехода из выпрямительного режима в инверторный и обратно. Но этот преобразователь занимает много места.

6.2 Автономные инверторы.

Автономные инверторы это устройства, преобразующие постоянный ток в переменный с постоянной или регулируемой частотой и напряжением и работающие на автономную нагрузку. Автономные инверторы, в отличие от зависимых, могут работать при отсутствии на выходе дополнительных источников переменного тока.

Частота выходного напряжения инвертора определяется частотой следования импульсов управления, а форма и величина выходного напряжения характером нагрузки и схемой инвертора.

Классификация автономных инверторов.

1. По инвертируемому параметру

- инверторы тока

В инверторах тока при переключении тиристоров на выходе формируется переменный ток прямоугольной формы, а форма и фаза выходного напряжения зависит от параметров нагрузки. Источник питания инвертора работает в режиме генератора тока, для чего во входной цепи инвертора включен дроссель с большой индуктивностью. В зависимости от подключения коммутирующего конденсатора по отношению к нагрузке инверторы тока делят на параллельные, последовательные и последовательно – параллельные.

- инверторы напряжения

Инверторы напряжения формируют на нагрузке переменное напряжение прямоугольной формы, а форма и фазовый сдвиг тока нагрузки определяются характером нагрузки. Источник питания работает в режиме генератора напряжения. При питании от источника с большим внутренним сопротивлением на

выходе инвертора устанавливается конденсатор большой ёмкости для обеспечения проводимости источника постоянного напряжения в обратном направлении. Этот конденсатор необходим, когда в цепи нагрузки имеются реактивные элементы любого типа, что характерно при питании от инвертора напряжения двигателей переменного тока.

- резонансные инверторы

В резонансных инверторах нагрузка, имеющая значительную индуктивность, образует с реактивными элементами схемы инвертора колебательный контур. Поэтому ток тиристоров изменяется по колебательному закону. Тиристоры выключаются благодаря плавному спаду их тока до нуля в каждом полупериоде. Собственная частота контура должна быть выше или равна рабочей частоте инвертора. Питаться резонансные инверторы могут от источников напряжения и от источников тока. В зависимости от включения конденсаторов колебательного контура относительно нагрузки, различают параллельные, последовательные и последовательно – параллельные инверторы.

2. По типу схемы

- мостовые инверторы
- полумостовые инверторы
- инверторы со средней точкой.

3. По числу фаз

- однофазные инверторы
- многофазные инверторы.

4. По типу вентиля

- инверторы на полностью управляемых ключевых элементах (транзисторах)
- инверторы на неполностью управляемых ключевых элементах (тиристорах).

Схема автономного однофазного параллельного инвертора тока (6.5).

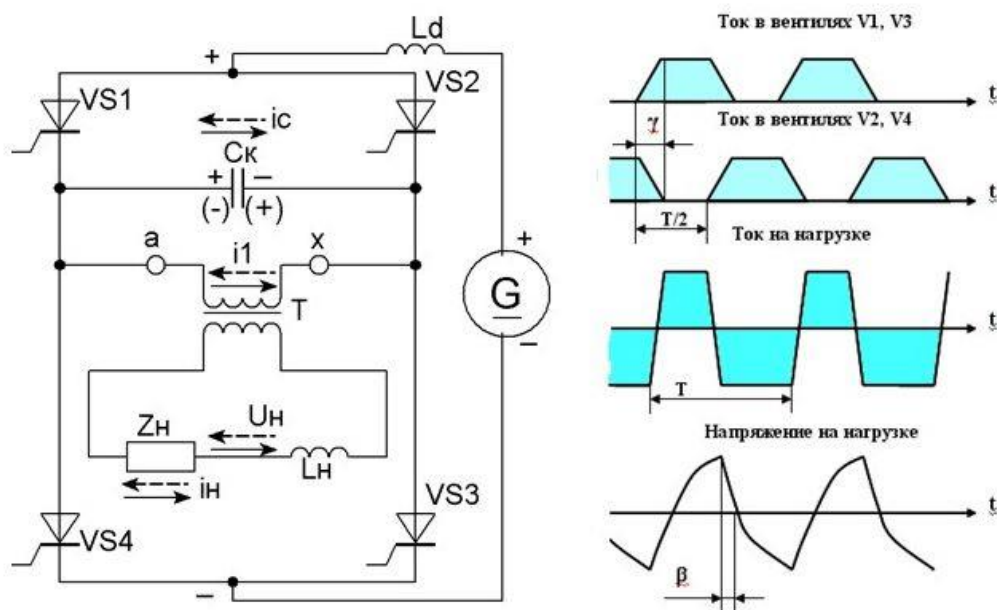


Рис. 6.5 Схема автономного однофазного параллельного инвертора тока на тиристорах.

Если включить тиристоры VS1, VS3 то от двигателя постоянного тока, работающего в режиме генератора (G), подходит ток i_1 через первичную обмотку трансформатора T (от точки a к точке x). Через время $T/2$ включаются тиристоры VS2, VS4, а ток i_1 меняет направление.

При изменении направления тока в первичной обмотке трансформатора T в его сердечнике создаётся переменный магнитный поток, который индуцирует ЭДС во вторичной обмотке, и напряжение вторичной обмотки прикладывается к нагрузке R_H . Частота переменного тока i_H зависит от частоты включения тиристоров VS1, VS3 и VS2, VS4.

При протекании тока через тиристоры VS1, VS3 заряжается конденсатор C_k , а когда открываются тиристоры VS2, VS4, конденсатор C_k разряжается. К тиристорам VS1, VS3 прикладывается обратное напряжение и они выключаются. В период коммутации (угол γ) ток протекает через обе пары тиристоров. Конденсатор C_k разряжается, и ток его разряда i_c уменьшает до нуля ток тиристоров VS1, VS3,

а в тиристорах VS_2, VS_4 увеличивает его до установившегося значения. Когда VS_1, VS_3 выключаются, конденсатор C_k перезаряжается. Он снова готов для коммутации тока с тиристоров VS_2, VS_4 на VS_1, VS_3 в следующий полупериод.

Кривые токов несинусоидальны, как и напряжение на нагрузке. Приблизить форму напряжения на нагрузке к синусоиде можно включением LC – фильтров.

Для изменения частоты выходного напряжения меняют частоту управляющих импульсов на тиристоры.

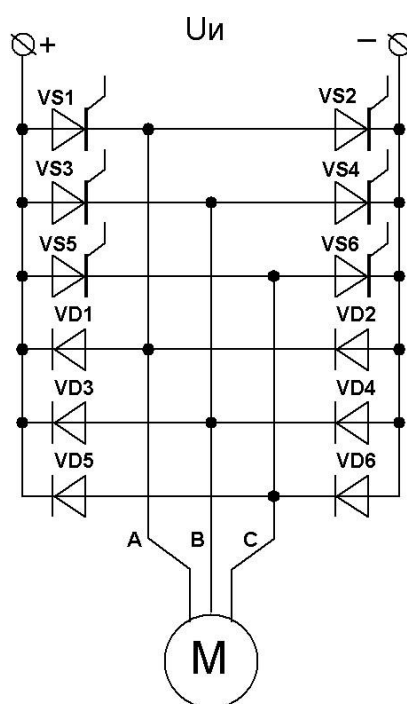


Рис. 6.6 Схема трёхфазного инвертора напряжения.

**на схеме не показаны устройства для коммутации токов тиристоров и фильтры.*

Упрощённая схема трёхфазного инвертора напряжения (Рис. 6.6).

Инвертор выполнен по трёхфазной мостовой схеме из шести тиристоров ($VS_1...VS_6$) и шести обратных диодов ($VD_1...VD_6$). Через определённые промежутки времени по заданному алгоритму на тиристоры подаются управляющие импульсы. Частота выходного напряжения задаётся схемой управления.

Обратные диоды передают источнику питания электромагнитную энергию, накапливаемую в индуктивных сопротивлениях фаз двигателя, т.е. компенсируют реактивную мощность нагрузки. Диоды устраняют перенапряжения на элементах инвертора и обеспечивают независимые друг от друга включение и выключение тиристоров.

Способы регулирования напряжения, приложенного к двигателю.

1. Изменение питающего напряжения U_i источника постоянного тока (Рис. 6.7). При этом напряжение на нагрузке имеет прямоугольную форму.

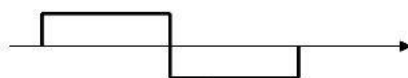


Рис. 6.7 Изменение питающего напряжения.

2. Изменение длительности включенного состояния тиристоров путём изменения длительности импульсов управления (Рис. 6.8). При этом выходное напряжение имеет ступенчатую форму.



Рис. 6.8 Изменение длительности включенного состояния тиристоров путём изменения длительности импульсов управления.



Рис. 6.9 Изменение длительности высокочастотных импульсов.

3. Изменение длительности высокочастотных импульсов (Рис. 6.9), формируемых каждым тиристором в течение полупериода рабочей частоты

(широотно – импульсная модуляция). При уменьшении длительности импульсов выходное напряжение уменьшается, но период модуляции (период управляющих импульсов) остаётся неизменным.

6.3 Принцип действия ВИП.

Выпрямительно-инверторный преобразователь (ВИП) — статическое устройство для преобразования переменного тока (напряжения) в постоянный (выпрямление) и постоянного в переменный (инвертирование).

На электроподвижном составе переменного тока выпрямление тока производится в тяговом режиме, инвертирование — в режиме рекуперативного торможения.

В начале 1960-х годов на электровозах ВЛ60к устанавливали игнитронные (ртутные) ВИП. Первый ВИП на тиристорах был смонтирован на опытном электровозе ВЛ80р в 1967 году.

Электровоз ВЛ-65 получает питание от контактной сети переменного тока. В качестве ТЭД используются коллекторные двигатели НБ-514. Для выпрямления переменного тока контактной сети и плавного регулирования ТЭД служит выпрямительно – инверторный преобразователь (ВИП). При рекуперативном торможении пульсирующий ток ТЭД, работающих в режиме генератора, с помощью ВИП преобразуется в переменный ток.

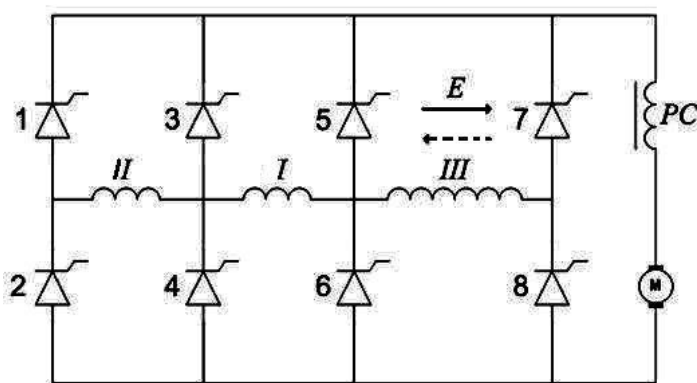


Рис. 6.10 Выпрямительно-инверторный преобразователь.

Силовая схема ВИП (Рис. 6.10) предусматривает четыре зоны регулирования выпрямленного напряжения. Очередность открытия плеч ВИП в выпрямительном

(тяги) и инверторном (рекуперация) режимах определяется алгоритмом работы системы управления преобразователями электровоза. БУВИП (блок управления выпрямительно–инверторной установкой) формирует и в соответствии с заданным алгоритмом распределяет по плечам всех ВИПов управляющие импульсы, запускающие систему формирования импульсов, которая в свою очередь формирует и распределяет по тиристорам управляющие импульсы требуемых параметров с заданной фазой и в заданной алгоритмом последовательности.

Для обеспечения равномерного распределения напряжения по последовательно соединенным тиристорам используют шунтирующие резисторы. Равномерное распределение тока по параллельным ветвям тиристоров достигается благодаря применению индуктивных делителей, а также подбором последовательно соединенных тиристоров по суммарному падению напряжения при двух значениях тока: предельном и 0,25 предельного.

Для обеспечения работы в выпрямительном и инверторном режимах используют четыре типа управляющих импульсов.

 управляющий импульс, подаваемый в начало полупериода, фаза которого соответствует минимальному углу регулирования тиристоров в тяговом режиме (α_0).

 управляющий импульс, подаваемый на тиристоры в режиме рекуперации (β).

 управляющий импульс, регулируемый по фазе от α_{max} до α_{min} .

 нерегулируемый задержанный по фазе управляющий импульс, используемый в режиме тяги.

Алгоритм работы плеч ВИП показан в таблице (Рис. 6.11).

Режим	Зона	Полупериод	Алгоритм работы плеч ВИП							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Тяговый	I	+				◐	◐◐			
		-			◐			◐		
	II	+		◐		●	◐			
		-	◐		●			◐		
	III	+				◐		●	◐	
		-			◐		●			◐
	IV	+		◐		●			◐	
		-	◐		●					◐
Рекуперативный	IV	+		◐	◐				◐	
		-	◐			◐				◐
	III	+				◐	◐		◐	
		-			◐			◐		◐
	II	+		◐	◐		◐			
		-	◐			◐		◐		
	I	+				◐◐	◐◐			
		-			◐◐			◐◐		

Рис. 6.11 Алгоритм работы плеч ВИП.

Тяговый режим.

Для поддержания высокого коэффициента мощности регулирование напряжения в тяговом режиме разделено на четыре зоны.

Вторичная обмотка тягового трансформатора состоит из трёх секций. Номинальное напряжение на обмотках I и II – 315 В, обмотка III имеет напряжение 630 В.

На первой зоне (Рис. 6.12) регулирования угол регулирования $\alpha_{р\max}$, имеет максимальное значение, при этом выпрямленное напряжение минимально. Подавая управляющие импульсы $\alpha_{р}$ на тиристорные плечи 4 – 6, фаза которых

регулируется в пределах от $\alpha_{\max}$ до $\alpha_{\min}$, можно изменять выпрямленное напряжение от минимального значения $U_{d\min}$ до $\frac{1}{4} U_{dн}$ – номинального выпрямленного напряжения преобразователя 1400 В.

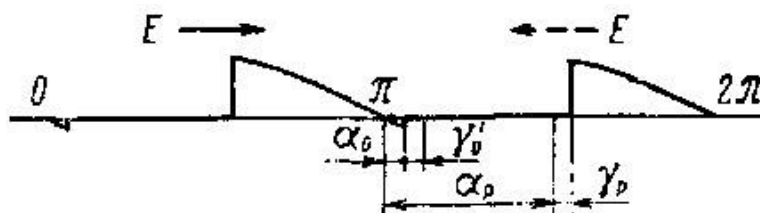


Рис. 6.12 Первая зона регулирования.

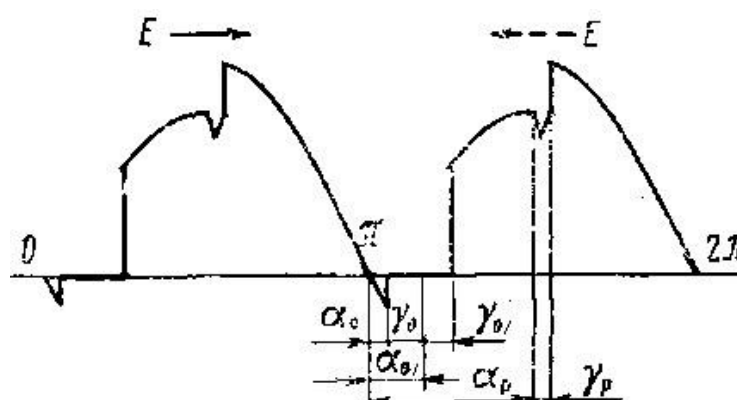


Рис. 6.13 Вторая зона регулирования.

На второй зоне регулирования (Рис. 6.13) выпрямленное напряжение складывается из напряжений секции I обмотки трансформатора и напряжения секции II, дополнительно прикладываемого к тяговому двигателю на интервале $\alpha_r \div \pi$. При минимальной величине фазы импульсов управления α_r , подаваемых на плечи 1 – 2 на второй зоне регулирования, выпрямленное напряжение увеличивается до $\frac{1}{2} U_{dн}$.

На третьей зоне регулирования секции I и II заменяются секцией III с напряжением 630 В. К ней добавляется, регулируемое по фазе, напряжение секции I. При изменении α_r подаваемого на плечи 3 и 4, от $\alpha_{\max}$ до $\alpha_{\min}$ выпрямленное напряжение достигает $\frac{3}{4} U_{dн}$.

На четвёртой зоне регулирования к напряжению обмоток I и II добавляется часть напряжения обмотки III за счёт изменения угла регулирования тиристорных плеч 1 и 2 от $\alpha_{\max}$ до $\alpha_{\min}$. При минимальном угле регулирования тиристорных плеч 1 и 2 выпрямленное напряжение достигает $U_{dн}$.

Режим рекуперации.

Алгоритм работы преобразователя на первой зоне регулирования несколько отличается от работы ВИП на других зонах. Напряжение инвертора определяется только секцией I обмотки трансформатора. Инвертирование осуществляется за счёт подачи соответствующих импульсов на тиристоры плеч 3 -6 в соответствии с алгоритмом работы преобразователя. Условием рекуперации энергии является противоположная полярность напряжения вторичной обмотки трансформатора.

На четвёртой зоне регулирования ток в цепи инвертора протекает через тиристорные плечи 2 и 7 под действием напряжения ТЭД, работающего в режиме генератора. Его направление противоположно напряжению вторичных обмоток трансформатора.

Работа преобразователя на второй и третьей зонах рекуперации принципиально не отличается от работы на четвёртой зоне.

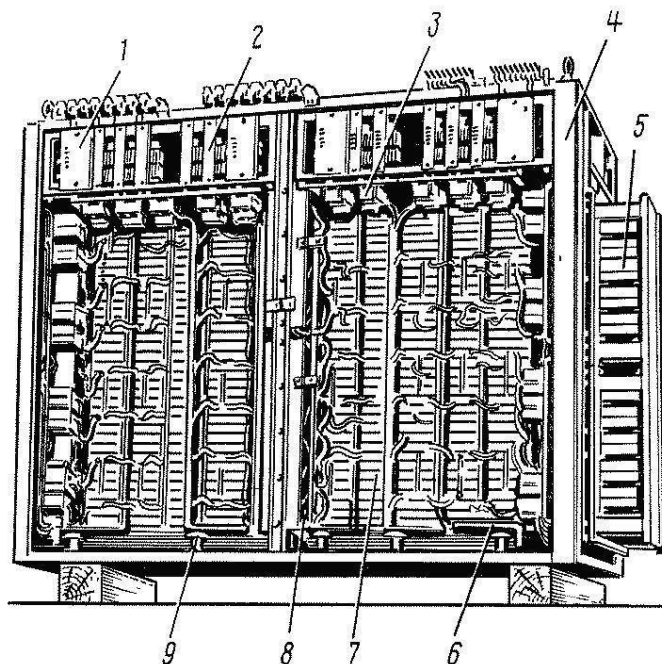
6.4 Конструкции импульсных преобразователей.

Основным элементом всех преобразователей является вентиль. При прохождении через вентиль тока часть энергии теряется — выделяется в виде тепла. Современные преобразовательные установки работают сравнительно с небольшими потерями энергии — не более 2%. Однако если не предусмотреть принудительного охлаждения — вентиляции, то эти потери могут привести к недопустимому нагреву оборудования, в первую очередь самих вентилях. Поэтому вентили монтируют в специальных охладителях — радиаторах с развитой поверхностью в виде ребер, а преобразователи оборудуют системой принудительного охлаждения потоком воздуха.

Для преобразователей большой мощности требуются десятки, а иногда сотни вентилях. Ток и напряжение должны равномерно распределяться между всеми вентилями. Поэтому в преобразователях используют устройства, выравнивающие ток и напряжение между вентилями. Наконец, преобразователи с управляемыми вентилями оборудуют системой, обеспечивающей подачу открывающих импульсов на управляющие электроды тиристоров, системами защиты и сигнализации: Все перечисленные устройства в комплексе составляют преобразовательную установку (Рис. 6.14).

У преобразовательной установки остовом служит сварной каркас 4 из профильной и листовой стали. Расположение элементов на каркасе выполнено с учетом удобства выполнения монтажа и обслуживания при эксплуатации, а также обеспечения эффективного принудительного воздушного охлаждения радиаторов тиристоров.

На лицевой стороне ВПП расположены плечи 1, 2, 3 и 8 (обозначения плеч даны в соответствии с электрической схемой), на обратной — плечи 4, 5, 6 и 7.



*Рис. 6.14 Выпрямительно-инверторный преобразователь.
1—кассета предварительного каскада БФИ; 2—касеты выходного каскада БФИ; 3—блок импульсных трансформаторов; 4—каркас; 5—блок БВН; 6 — шина; 7—блок тириستоров; 8 — делитель тока; 9 — изолятор.*

Расположение плеч и маркировка тириستоров 7 указаны на табличках, укрепленных на каждой стороне ВИП. Цепи вентилях расположены по горизонтали. По высоте установлено семь тиристоров, что соответствует числу параллельных ветвей тиристоров в одном плече. По горизонтали расположены с одной стороны ВИП 12, а с другой—10 тиристоров. Тиристоры в конструкцию встраиваются блоками, которые содержат по одному или два тиристора.

Панели блоков тиристоров образуют канал охлаждения. Охлаждение воздушное, принудительное. Направление движения воздуха — сверху вниз.

С одной стороны ВИП в средней части расположены блоки индуктивных делителей тока 8 для плеч 1, 2; с обратной стороны— для плеч 5, 6. На торцах ВИП установлены блоки индуктивных делителей тока для плеч 7, 8 и 3, 4.

Элементы блоков БВН (блок выравнивания напряжения) размещены на панелях: внутри ВИП с одной стороны — для плеч 4 и 6, с другой стороны — для плеч 5 и 7. Снаружи ВИП на его торцах расположены БВН (блок 5) для плеч 1, 2, 3

и 8. Устройства выравнивания напряжения каждого плеча расположены на отдельных панелях.

Система блоков формирования импульсов 1 и 2 и блока защиты от снижения питающего напряжения размещена в верхней части ВИП. Там же расположены и панели зажимов для подключения сигнализации при пробое вентиля и для подключения системы управления электровоза (от БУВИП – блока управления ВИП)) к формирователям импульсов ВИП. В нижней части каркаса имеются болты для заземления.

Надежная работа ВИП обеспечивается при нормально действующей принудительной вентиляции, наличии защиты от коротких замыканий, перегрузок по току, системы сигнализации о пробое тириستоров, защиты от прекращения потока воздуха, защиты от перенапряжений, датчиков слежения за углом коммутации в аппаратуре управления.

В комплект поставки на одну секцию электровоза входят два ВИП и один блок конденсаторов, которые используют в фильтре источника питания для системы блоков формирования импульсов. Блок конденсаторов состоит из 10 отдельных блоков, в каждый из которых в свою очередь входят 80 конденсаторов, укрепленных на алюминиевой панели. Каждый блок имеет выходные шпильки «+» и «—». Одноименные шпильки объединены шинками.

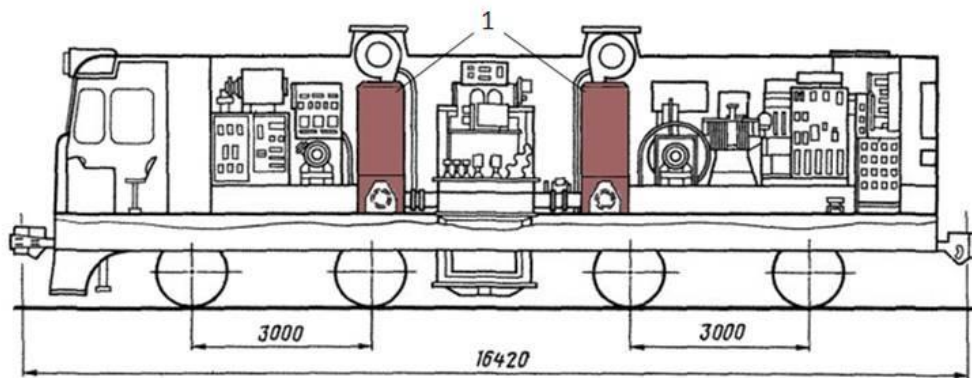


Рис. 6.15 Расположение ВИП-2200 в секции электровоза ВЛ80р.
1 — Выпрямительно-инверторный преобразователь (ВИП).

На электровозах ВЛ80 установлены ВИП 2 – 2200М (Рис. 6.15); на электровозах ВЛ85 и 2ЭС5К установки ВИП-4000М-УХЛ2 (Рис. 6.16).

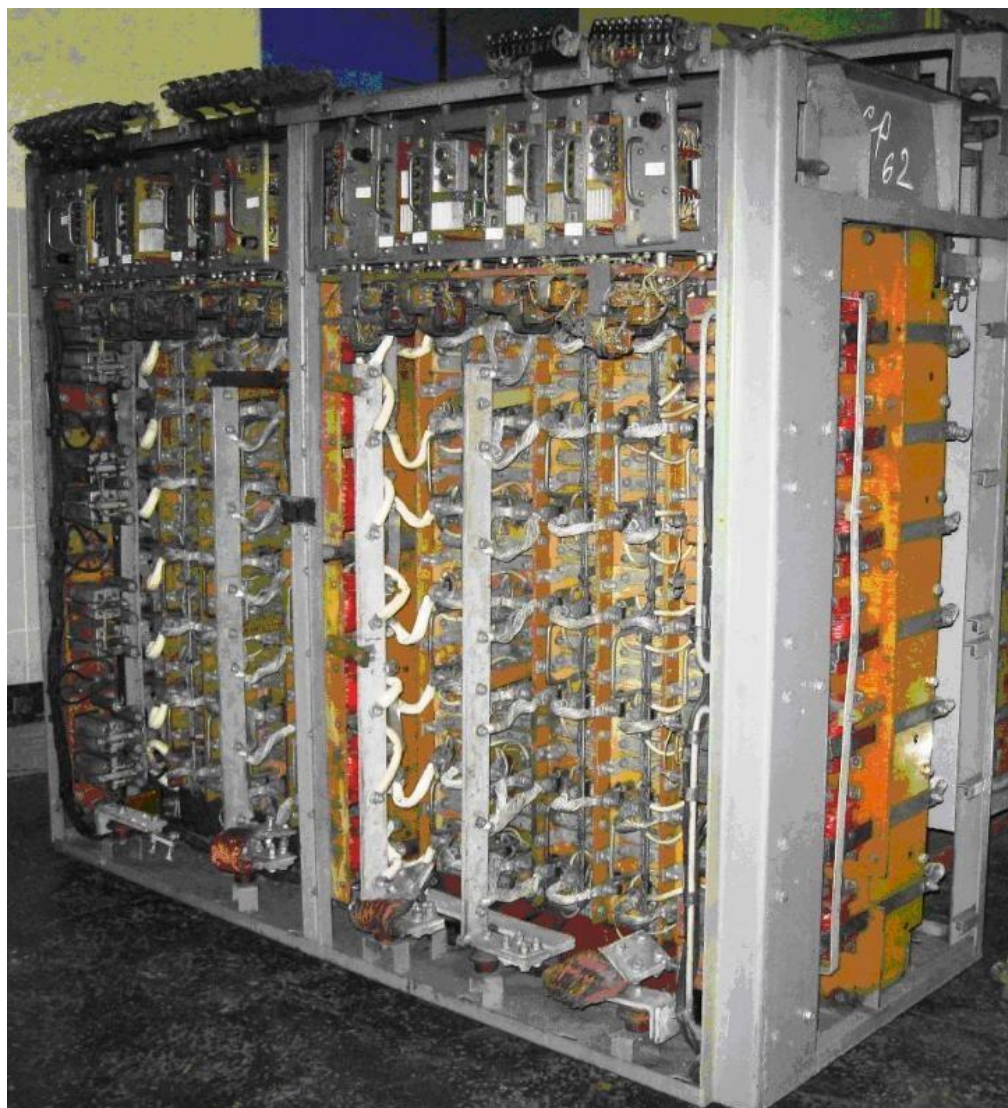


Рис. 6.16 Общий вид ВИП.

6.5 Преобразователи частоты и фаз.

Основные функции ПЧ

1. Регулируемое ускорение

Увеличение скорости двигателя регулируется с использованием линейной или S-образной характеристики ускорения. Эта характеристика обычно настраиваемая, поэтому есть возможность выбора времени возрастания скорости в соответствии с конкретным случаем применения.

2. Управление скоростью

Регулятор частоты сам по себе не является в то же самое время регулятором скорости. В простейших ПЧ принцип управления осуществляется на основе электрических характеристик двигателя с использованием регулирования мощности в системе без обратной связи, известной как «открытый контур». Скорость двигателя определяется входной величиной (напряжение или ток), известной как заданное значение или уставка. Для конкретного заданного значения скорость может варьироваться в зависимости от помех (изменений в питающем напряжении, нагрузки). Диапазон регулирования скорости определяется по отношению к номинальной скорости.

3. Регулирование скорости

Регулятор скорости - это устройство управления приводом. Он включает в себя систему управления с усилением мощности и контуром обратной связи, известным как «замкнутый контур». Скорость двигателя определяется заданным значением. Величина заданного значения постоянно сравнивается с сигналом обратной связи, который представляет собой значение скорости двигателя. Данный сигнал может поступать как от тахогенератора, так и от импульсного датчика, установленного на конце вала двигателя. Если обнаруживается отклонение,

Задание скорости

Компаратор

+

Регулятор

-

Датчик скорости

Двигатель

The diagram shows a three-phase thyristor bridge rectifier (VS1-VS6, VS7-VS12, VS13-VS14) connected to a three-phase diode bridge rectifier (VD1-VD6). The thyristor bridge is supplied by a three-phase source with voltage U_n and impedance Z_n . The diode bridge is connected to a three-phase source with voltage U_3 and impedance Z_3 . The thyristor bridge output is connected to the diode bridge input. The diode bridge output is connected to a load R_L and inductor L_L . The thyristor bridge is controlled by a firing angle α . The diode bridge is a standard three-phase bridge rectifier.

120

Схемы преобразователей частоты и фаз.

Преобразователи частоты и числа фаз — это автономные инверторы, предназначенные для преобразования постоянного тока в трехфазный и изменения частоты в широких пределах для питания трехфазных асинхронных и синхронных (вентильных) тяговых двигателей. При этом во время пуска и разгона локомотива частота выходного напряжения должна быть наименьшей, а при высшей скорости движения — наибольшей. Известны различные схемы автономных инверторов (с междуфазовой коммутацией, с двухступенчатой коммутацией и др.). Рассмотрим одну из схем, примененных на опытных электровозах.

Автономный инвертор напряжения электровоза ВЛ80а выполнен по мостовой схеме (Рис. 6.18), имеет шесть главных $VS6-VS11$ и восемь коммутирующих $VS1;VS2;VS3-VS5;VS12-VS14$ тиристоров, шесть обратных диодов $VD1-VD6$ и общее коммутирующее устройство в виде колебательного контура $C_k L_k$, получающего энергию через выпрямительный мост небольшой мощности, с тиристорами $VS15-VS18$, фильтром $L_{ф3}C_{ф3}$ (чтобы обеспечить надежную коммутацию тиристоров независимо от значения входного напряжения и снизить размеры и массу конденсатора C_k). Продолжительность работы каждого главного тиристора $VS6-VS11$ без учета коммутации и времени протекания реактивного тока через обратные диоды ($VD1-VD6$) составляет $1/6$ периода, т. е. использование тиристоров при двухступенчатой коммутации выше, чем при междуфазовой коммутации. Для закрытия, например, тиристора $VS6$ при полярности конденсатора C_k , открывают тиристоры $VS1$ и $VS3$. Это приводит к разряду конденсатора C_k через L_k , $VS3$, $VD1$ и $VS7$. Во время разряда на тиристор $VS6$ действует обратное напряжение, вызывающее почти мгновенное его закрытие. После разряда конденсатора C_k накопленная в реакторе L_k магнитная энергия, превращаясь в электрическую, вновь заряжает конденсатор C_k , но с обратной полярностью,

необходимой для закрытия очередного тиристора VS7, VS8. Аналогичен процесс и закрытия тиристорov VS9 —VS11.

В результате открытия и закрытия тиристорov в определенной последовательности формируется трехфазное напряжение ступенчатой формы, которое подается на обмотку статора асинхронного двигателя АТ Д. Уровень напряжения на статорной обмотке определяется выпрямленным напряжением U_d , поступающим на вход инвертора. Частоту питания этой обмотки регулируют, изменяя частоту переключения тиристорov. Чтобы асинхронный двигатель, работающий при разных частотах, имел высокие значения к.п.д., коэффициента мощности и перегрузочную способность, необходимо одновременно с изменением частоты примерно в той же степени изменять и значение напряжения.

Автономные инверторы напряжения с двухступенчатой коммутацией имеют ряд преимуществ по сравнению с такими же инверторами с междуфазовой коммутацией. Благодаря разделению процессов в коммутирующих цепях и фазам нагрузки выше надежность коммутации при регулировании частоты и напряжения в широких пределах и изменениях нагрузки и коэффициента мощности. Такие инверторы имеют жесткую внешнюю характеристику, при которой выходное напряжение почти не зависит от нагрузки в широком диапазоне изменения частоты.

7. Техническое обслуживание и ремонт электронных преобразователей.

7.1 Уход в эксплуатации и основные неисправности.

Уход в эксплуатации.

Перед включением выпрямительной установки необходимо убедиться в надежности всех контактных соединений, отсутствии посторонних предметов и загрязненных элементов. Выпрямитель под нагрузку можно включать только при исправной системе защиты и охлаждения. В эксплуатации необходимо не реже двух раз в месяц очищать все элементы от грязи и пыли. При осмотрах особое внимание следует обратить на надежность контактных соединений. Перед каждой поездкой проверяют исправность системы воздушного охлаждения (вентиляторы, воздухопроводы, контакторы, мотор-вентиляторы).

В случае отключения главного выключателя в результате срабатывания защиты выпрямительной установки необходимо перед повторным его включением выявить причину, вызвавшую срабатывание защиты, устранить неисправность и только после этого включить выпрямительную установку под напряжение и нагрузку. В частности, если аварийное отключение произошло в результате короткого замыкания, необходимо проверить целостность диодов, а также измерить сопротивление изоляции установки относительно корпуса, которое должно быть не менее 30 МОм.

Сопротивление изоляции токоведущих частей относительно корпуса измеряют мегаомметром на напряжение 2,5 кВ. При проверке сопротивления изоляции во избежание пробоя диодов все выводные шины соединяют. В случае резкого снижения уровня изоляции проверяют изоляционные прокладки, расположенные между токоведущими частями и корпусом. Испытание изоляции на электрическую прочность следует проводить от источника переменного тока

частотой 50 Гц и мощностью не менее 0,5 кВ-А. Изоляция токоведущих частей относительно корпуса, а также между плечами моста должна выдерживать в течение 1 мин испытательное напряжение переменного тока частотой 50 Гц; эффективное значение напряжения 7500 В. В эксплуатации допускается увеличение обратного тока диодов не более чем до 5 мА.

Основные неисправности.

К числу основных неисправностей выпрямительной установки следует отнести выход из строя диодов.

Поиск диода, вышедшего из строя, без разбора цепей при отключенной цепи со стороны входа и выхода выпрямительной установки осуществляют прибором ППНВ-1. Если в цепи, к которой подсоединен прибор, имеется пробитый диод, на приборе загорается сигнальная лампа. Затем проверяют все диоды этой цепи искателем (специальный прибор). Пробитый диод определяют по шуму в наушниках. На каждом локомотиве имеются такой прибор и инструкция по его эксплуатации.

При замене вышедшего из строя диода (для обеспечения равномерного распределения токов по параллельно соединенным диодам) вновь устанавливаемый диод должен быть той же подгруппы. Перед установкой диода его параметры проверяют на специальном стенде, позволяющем замерить обратный ток и прямое падение напряжения диода, определить его класс.

Критерием при подборе диодов в выпрямительной установке ВУК60-4Л является напряжение лавинообразования при обратном токе 30 мА ($U_{зо}$). Диод, устанавливаемый взамен вышедшего из строя, должен отвечать следующим требованиям: его напряжение ($U_{зо}$) не должно отличаться от этого напряжения остальных диодов данной ветви более чем на 30 В; суммарное прямое падение

напряжения диодов ветви с вновь установленным не должно отличаться от такого параметра других ветвей более чем на 0,03—0,04 В. Прямое падение напряжения и напряжение $U_{зо}$ указаны на корпусе диода.

Для установки и съема диодов применяют моментный ключ с торцевой насадкой, который поставляется в комплекте с выпрямительными установками. Ключ имеет двустороннюю головку: с одной стороны — для ввертывания диодов с максимальным моментом 6,5 кгс-м, с другой — для вывертывания. Торцовая насадка с одной стороны имеет шестигранное отверстие под основание диода, с другой — квадратное под моментный ключ.

Чтобы снять диод, необходимо отсоединить его гибкий вывод, надеть на основание диода торцовую насадку, вставить моментный ключ в квадратное отверстие насадки и поворачивать его против часовой стрелки. Если при отвертывании требуются большие усилия, необходимо ослабить два винта, крепящих токоведущую пластинку к радиатору. Если же и этого недостаточно, как исключение, допускается удлинить рукоятку моментного ключа металлической трубой. При этом общая длина рукоятки с трубой не должна превышать 500 мм.

Перед ввертыванием диода необходимо тщательно протереть посадочное место на пластине и в резьбовом отверстии радиатора, основание и резьбовой хвостовик диода. Нанести тонкий слой смазки ЦИАТИМ-201 и затем вручную завернуть диод. Не допускается попадание смазки на резьбу. Окончательную затяжку производят тарированной стороной головки моментного ключа. Диод считается плотно ввернутым, когда при повороте головки ключа относительно рукоятки раздается щелчок.

При установке диода проверяют плотность прилегания поверхностей его основания и пластины, пластины и радиатора. Площадь прилегания, проверяемая

щупом толщиной 0,03 мм, должна быть не менее 75% всей площади. После ввертывания диода необходимо удалить излишки смазки.

При работе вентилях имеют место перенапряжения не только при аварийных режимах, но и при обычной работе. Это объясняется тем, что цепи с вентилями имеют реактивные элементы в виде дросселей и конденсаторов, в которых происходят колебания напряжения при переходе тока с вентиля на вентиль. Так как этот переход тока происходит непрерывно, то непрерывно происходят и колебания напряжения. Вследствие этого на вентилях могут быть перенапряжения, представляющие для них опасность. Перенапряжения могут происходить и при переключениях автоматами и контакторами.

Неисправность	Причина	Устранение
Уменьшилось напряжение в одной фазе со стороны питания	Перегорела вставка предохранителя	Заменить предохранитель
Выключатель на стороне постоянного тока не включается	Сработали блокировки преобразователя или рабочего механизма	При сигнале «готовность» преобразователя сработала блокировка механизма. При отсутствии сигнала проверить блок защиты и сигнализации
При включении выключателя происходит его отключение с броском тока	Неисправна система управления	Проверить работу системы управления согласно инструкции
	Неисправность системы автоматического регулирования (САР)	Проверить САР
	Неисправность системы защиты и сигнализации (СЭС)	Проверить СЭС
Толчки тока и отключение выключателя нагрузки при работе преобразователя на холостом ходу	Неисправность САР	Проверить исправность и настройку САР
	Нарушение в работе системы импульсно-фазового управления (СИФУ)	Проверить работу СИФУ

Рис. 7.1 Неисправность электронного блока управления.

Неисправность электронного блока управления.

Основным условием правильной работы агрегата является обеспечение строгой последовательности управляющих импульсов на электродах соответствующих тиристоров, что достигается фазировкой системы управления. Фазировка осуществляется с помощью осциллографа по инструкции. Некоторые неисправности установок указаны в таблице (Рис. 7.1).

7.2 Ремонт установок.

Выпрямительную установку снять с вагона; отремонтировать и испытать в соответствии с технологической инструкцией.

Обдуть камеру ВУ сжатым воздухом. Очистить все доступные без разборки и снятия блоков диодов поверхности, обращая особое внимание на поверхности ребер охладителей, изоляторы диодов и изоляционные прокладки. Очистку выполнять волосяными щетками или техническими салфетками, смоченными бензином, затем протереть сухими салфетками. Окрасить камеру.

Осмотреть блоки диодов, их крепление, вспомогательные элементы, шинный монтаж, соединительные провода, брезентовые уплотнения, изоляционные прокладки и клицы. Устранить обнаруженные неисправности, негодные детали заменить.

Проверить диоды на обрыв внутренней цепи и пробой. Измерить суммарную величину прямого падения напряжения на диодах в последовательных цепочках, которая не должна отличаться от других параллельных цепочек плечей ВУ более, чем установлено техническими условиями.

Измерить распределение тока по параллельным ветвям каждого плеча, отклонение от средних значений не должно превышать ($\pm$)10%.

Проверить тепловое сопротивление диодов с целью контроля их старения.

Проверку диодов на обратный ток проводить при номинальном обратном напряжении, равном напряжению класса диода. Величина обратного тока не должна превышать установленного техническими условиями значения.

Диоды, имеющие параметры, выходящие за допустимые пределы, заменить.

Затяжку диодов производить специальным ключом с нормированным усилием в соответствии с инструкцией завода-изготовителя.

Измерить сопротивление изоляции цепей диодов мегомметром на 2,5 кВ: цепи диодов относительно каркаса, цепи диодов относительно шпилек, блоков диодов, шпилек относительно каркаса. Величина сопротивления изоляции должна быть не менее установленных норм. Шпильки с дефектной изоляцией заменить.

Проверить электрическую прочность изоляции цепей диодов в соответствии с требованиями технических условий и инструкцией.

Отремонтированную установку поставить на локомотив закрепить и затянуть все крепящие детали, установить и закрепить детали уплотнения и воздушного охлаждения.

Подсоединить к выводам ВУ электрические провода и кабели, затянуть, проверить крепеж всех электрических соединений.

Ремонт блоков управления преобразователей.

Проверку, ремонт, регулировку, наладку и испытания электронного оборудования силовых и вспомогательных цепей и цепей управления производить в соответствии с технологическими инструкциями.

При замене неисправного электронного оборудования устанавливаемые узлы и детали по параметрам и характеристикам, взаимозаменяемости должны соответствовать чертежам.

Допускается замена элементов и узлов электронного оборудования и одного типа на другие, если их электрические, механические, температурные, временные и другие параметры и характеристики не хуже, чем у ранее установленных и если обеспечивается их полная взаимозаменяемость.

Все новые, отремонтированные и запасные преобразовательные установки, аппараты, узлы, блоки и отдельные электронные элементы перед установкой на локомотив должны пройти входной контроль основных параметров и

характеристик на стендах с помощью диагностических устройств и приборов в соответствии с требованиями стандартов, технических условий на данный тип электронного элемента, узла или блока.

При ремонте, сборке и монтаже электронного оборудования необходимо контролировать состояние каждого узла, кассеты и блоки с целью исключения последующих отказов в эксплуатации.

При обнаружении отклонений выходных характеристик и параметров электронных элементов или поиске неисправностей проверку электронных элементов производить при необходимости с их выпайкой.

Ремонт электронной аппаратуры производить при строгом соблюдении мер по исключению влияния статического электричества на микросхемы.

В процессе ремонта во избежание повреждений микросхем и других электронных элементов запрещается прикасаться к ним руками или инструментом без предварительного снятия электростатических зарядов.

Очистку печатных плат, элементов и блоков электронной аппаратуры от пыли, масла и грязи производить с использованием спирта или спирто-бензиновой смеси. Применение щелочных растворов при очистке запрещается.

Модули с деформированными, треснувшими корпусами сильно окисленными выводными ножками, отремонтировать, при необходимости заменить.

Полупроводниковые элементы (транзисторы, диоды, стабилитроны, микросхемы), имеющие деформированные корпуса, коробление краски, почернение, выпаять и заменить.

Все экраны проводов, экранирующие обмотки трансформаторов, экраны и кожуха приборов, блоков и аппаратов должны быть заземлены в соответствии с требованиями чертежей.

Изоляционные панели, рейки, держатели, изоляторы при наличии трещин, изломов, отколов, подгаров и других дефектов отремонтировать или заменить.

Операции пайки выполнять при соблюдении следующих условий.

Перед выпайкой детали печатной платы осторожно удалить лак с места пайки, деталь выпаять паяльником мощностью до 50 Вт за одно прикосновение в течение не более 3 с.

Пайку новых элементов производить припоем ПОС-60 с использованием канифольно-спиртового флюса. Расстояние от места пайки выводов до корпуса детали должно быть не менее 10 мм.

Для выпайки модулей и микросхем применять паяльники со специальными насадками и отсосом припоя.

Пайку элементов на печатных платах производить так, чтобы припой выступал с обеих сторон металлизированных отверстий.

Место новой пайки и зачищенный от лака печатный проводник покрыть двойным слоем лака.

Проверить сопротивление изоляции и электрическую прочность высоковольтного электронного оборудования в соответствии с установленными требованиями и нормами.

Виды ремонтных работ.

1. Разборка блоков на составные части;
2. Отбраковка неисправных и нестандартных деталей;
3. Мойка составных частей блоков производится в моечной машине (например Karcher PC 60/130 T);
4. Сушка составных частей блоков осуществляется в сушильной камере (например «Уралэлектропечь» ШСП-0,25–1,2-1 ТР);

5. Проверка геометрических параметров стяжного узла. При проверке установки траверсы стяжного узла используется линейка-уголок, штангенциркуль и индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм;
6. Сборка вентиля с охладителем производится в соответствии с инструкцией по сборке «Охладители для силовых полупроводниковых приборов ДЖИЦ432000.001ПС»;
7. Проверка по электрическим параметрам производится с использованием приборов (например приборов «АДИП» и приборов «Транспроект-автоматика»);
8. Подбор вентиля в плечи преобразователей по электрическим параметрам осуществляется посредством программного обеспечения согласно требованиям ТУ на преобразовательную установку;
9. Сборка вентильных блоков производится по формуляру подбора вентилей согласно требованиям ТУ на преобразовательную установку.

Заключение.

Перспективы развития электропривода и электронных преобразователей на
РЖД.

Повышение эффективности железнодорожных грузоперевозок в настоящее время невозможно без своевременного обновления действующего парка электроподвижного состава и повышения его технического уровня. Рост мировой экономики, активизация сухопутного сообщения в транспортном коридоре Юго-Восточная Азия — Европа и реальная перспектива Транссибирской магистрали стать важным транспортным связующим звеном между странами Евроазиатских регионов делает вопрос обновления парка электроподвижного состава (ЭПС) для ОАО «РЖД» крайне актуальным. С учетом тяжелых эксплуатационных условий на железных дорогах сибирского и дальневосточного регионов и продолжающегося ежегодного увеличения грузопотока наиболее перспективным видом локомотивов для этих условий могут стать электровозы с асинхронным тяговым приводом.

В мировом опыте железнодорожного машиностроения развитию электровозов с асинхронными тяговыми двигателями (АТД) давно придается приоритетное значение. Благодаря малому удельному расходу активных материалов АТД, по сравнению с коллекторными двигателями, имеют лучшие массогабаритные показатели, требуют меньших затрат на их обслуживание, а высокая жесткость электромеханических характеристик позволяет реализовать большие значения коэффициента сцепления. Совокупность этих факторов позволяет повысить осевую мощность электровоза, обеспечивает лучшие тяговые характеристики, дает возможность снизить затраты на обслуживание и получить ряд других важнейших эксплуатационных преимуществ.

Однако электровозы с асинхронным приводом имеют первоначальную стоимость, существенно превышающую стоимость локомотивов с аналогичной осевой мощностью с коллекторными двигателями постоянного (пульсирующего) тока. Тем не менее, это обстоятельство несколько не снижает конкурентоспособность локомотивов с асинхронным приводом и абсолютно не сдерживает их использование для обновления действующего парка, принимая во внимание стоимость жизненного цикла различных типов электровозов нового поколения и предшествующих.

Локомотивы с АТД, по сравнению с традиционным для железных дорог России тяговым приводом с зонно-фазовым регулированием коллекторных двигателей, имеют дополнительные силовые преобразовательные устройства, которые обеспечивают получение трехфазного напряжения. Причем, количество этих устройств на тяговой единице, как правило, определяется не предельно возможной величиной единичной мощности этих устройств, а числом тяговых двигателей.

Необходимым условием максимального использования сцепного веса подвижного состава является равномерное распределение нагрузок между его тяговыми двигателями. В то же время, высокая жесткость электромеханических характеристик АТД и всегда имеющаяся их неидентичность, а также появляющийся в процессе эксплуатации локомотива неравномерный износ бандажей приводят к тому, что тяговые двигатели нагружаются неодинаково.

Используемые в настоящее время современные тяговые системы устраняют возникающее различие нагрузок АТД. Такие системы основаны на применении для электропитания каждого из двигателей напряжений разных частот, требуют наличия для каждого двигателя индивидуального преобразователя частоты и числа фаз.

Создание и экспериментальные исследования систем преобразователей частоты для нужд железнодорожного транспорта ведутся рядом заводов и научно-исследовательских организаций СНГ и России: ВЭЛНИИ, НЭВЗ (г. Новочеркасск), ВНИИЖТ, МИИТ, МЛРЗ (г. Москва), РАО ВСМ (г. Петербург), ДЭВЗ (г. Днепропетровск), АО "Электровыпрямитель" (г. Саранск), В НИТИ (г. Коломна), ПГУПС (г. Петербург), АЭК "Динамо" (г. Москва).

Большой вклад в разработку и освоение отечественного производства указанного электрооборудования внесли наши ученые и инженеры : доктора технических наук Н.А. Ротанов, А.С. Курбасов, И.П. Копылов, В.Ф. Козаченко, В.П. Феоктистов, Ю.М. Иньков, А.Н. Савоськин, кандидаты технических наук: В.В. Литовченко, В.А. Шаров, А.А. Будницкий, Д. Л. Киржнер, инженеры: А. М. Кривной, А. Л. Донской, В.С. Строков.

Собраны и обобщены материалы по "математической теории оптимального управления " работ Л. С. Понтрягина, В.Г. Болтянского, Р.В. Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко, Р. Беллмана, Н.Н. Боголюбова, Ю.А. Митропольского и других, на основе которых выведены критерии полной управляемости для АМ и подтвердился выведенный ранее [32] критерий полной управляемости нелинейного объекта в общем виде на основе функции Вейерштрасса.

Список литературы.

Основные источники:

1. Южаков Б. Г. Электрический привод и преобразователи подвижного состава. - М: ГОУ "Умц", 2011.

Дополнительные источники:

1. Дайлидко А.А. Электрические машины тягового подвижного состава. М.: УМК МПС России, 2002.

2. Кацман М.М. Электрические машины. М.: Высшая школа, 1990.

3. Бервинов В.И. Электроника, микроэлектроника и автоматика на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1987.

4. Зорохович А.Е., Крылов С.С. Основы электроники для локомотивных бригад. М.: Транспорт, 1983.

5. Бурков Т.А. Электронная техника и преобразователи. М.: УМК МПС России, 1999.

6. Дайлидко А.А., Дайлидко О.А. Электрические машины: Иллюстрированное учебное пособие. М.: УМК МПС России, 2002.