

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра локомотивов

В. В. НЕВЗОРОВ, А. Л. ШВЕДОВ

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЗОВ

Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию в области транспорта и транспортной деятельности для обучающихся по направлению 1-37 02 01 -01 «Тяговый состав железнодорожного транспорта (Тепловозы)» специальности 1 – 37 02 01 «Тяговый состав железнодорожного транспорта (по направлениям)» в качестве учебно-методического пособия

Гомель 2022

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра локомотивов

В. В. НЕВЗОРОВ, А. Л. ШВЕДОВ

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТЕПЛОВЗОВ

Учебно-методическое пособие

Часть 1

Гомель 2022

УДК 629.424.4(075.8)

ББК 39.16

С45

Рецензент -

Невзоров, В. В., Шведов, А.Л.

С45 Электрооборудование тепловозов : учеб.-метод. пособие. В 3 ч. Ч. 1/
В. В. Невзоров, А.Л. Шведов ; М-во трансп. и коммуник. Респ.
Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. - Гомель : БелГУТ, 2021. - 113 с.
ISBN 978-985-468-391-1

Изложены общие сведения об электрических аппаратах и схемах тепловозов. Представлены в соответствии с рабочей программой дисциплины теоретические сведения о работе тепловозных реле и контакторах.

Предназначено для студентов всех форм обучения, изучающих дисциплину “Электрооборудование тепловозов”

УДК 629.424.4(075.8)

ББК 39.16

ISBN 978-985-468-391-1 (ч.1)

ISBN 978-985-468-392-8

© Невзоров В. В., Шведов А.Л., 2021

© Оформление. УО “БелГУТ”, 2021

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ, ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКИЕ И СТАТИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ	5
1.1 Общие положения	5
1.2 Обозначения проводов, кабелей и установочных изделий	6
1.3 Обозначения реле и контакторов	12
1.4 Обозначения резисторов и конденсаторов	28
1.5 Обозначение электромагнитных устройств	33
1.6 Обозначения полупроводниковых приборов	41
1.7 Обозначения электрических машин	57
1.8 Разновидности электрических контактов	69
1.9 Условия работы контактов	73
1.10 Условия возникновения и горения электрической дуги	77
1.11 Способы гашения электрической дуги	78
1.12 Методы повышения коммутационной стойкости контактов реле управления	82
1.13 Электропневматические механизмы	85
1.14 Поршневой пневмопривод	86
1.16 Электронные измерительные преобразователи	88
2 КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ	99
2.1 Принципиальные схемы	99
2.2 Исполнительные схемы	101
2.3 Монтажные схемы	103
2.4 Способы исполнения схем	105
2.5 Схемы различных цепей	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	112

ВВЕДЕНИЕ

Электрические аппараты на тепловозах используются для дистанционного управления, автоматической защиты и регулирования различных систем тепловоза. С помощью электрических аппаратов осуществляется дистанционное измерение различных физических величин. Если проводить аналогию между тепловозом и живым организмом, то электрические аппараты представляют собой своеобразную нервную систему, благодаря которой обеспечивается согласованная работа различных систем тепловоза.

На первых тепловозах, появившихся в начале XX в., системы управления были реализованы на реле и электрические аппараты использовались для дистанционного управления электрической передачей тепловоза. В середине XX в. на тепловозах для автоматического регулирования передачи мощности применялись возбудители с продольным или радиальным расщеплением полюсов. В 60–70 гг. XX в. для этой же цели стали применять магнитные усилители и другие бесконтактные аппараты. Это сопровождалось существенным усложнением систем автоматического регулирования, дистанционного управления и защиты различных систем тепловоза. Однако в основе этих систем по-прежнему были электромагнитные реле. С середины 70-х гг. на тепловозах советского производства стали применять силовую электронику с использованием тиристорov. С 90-х гг. XX в. началось внедрение силовой электроники нового поколения (силовые транзисторы) и микропроцессорных систем управления, регулирования и защиты. Этот процесс продолжается и по сей день.

По мнению автора, в существующей специальной литературе по тепловозам отдельным вопросам уделено недостаточное внимание. Данная литература ориентирована на подготовку локомотивных и ремонтных бригад, поэтому нередко те или иные сведения о конструкции и принципах работы электрических аппаратов просто констатируются без каких-либо теоретических пояснений. Такого подхода для подготовки квалифицированных инженеров-тепловозников явно недостаточно, так как инженера от других специалистов отличает «знание некоторых принципов, которое заменяет знание многих фактов». При написании пособия автор попытался лишь восполнить недостаток «некоторых принципов», поэтому при изучении дисциплины «Электрооборудование тепловозов» следует обязательно обратиться к книгам по электрооборудованию тепловозов Б. И. Вилькевича, а также к книгам по устройству и работе тепловозов под редакцией С. П. Филонова.

При изложении материала автор ориентировался на тепловозы серий 2ТЭ10 (передача мощности постоянного тока) и 2ТЭ116 (передача мощности переменного постоянного тока). Теоретические сведения, как правило, подкрепляются примерами использования технических решений на тепловозах этих серий.

1 ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ, ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКИЕ И СТАТИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ

1.1 Общие положения

Для правильного и единого изображения электрических схем применяют систему условных графических обозначений (символов) всех элементов, образующих электрические цепи, включая и соединительные провода. Эта система создавалась и видоизменялась в течение длительного времени одновременно с развитием самих элементов, составляющих схему. Совершенствование электрического оборудования и усложнение схем приводили к поискам графических символов, которые позволили бы наиболее просто и наглядно определить особенности оборудования, и при этом не усложняли, а упрощали начертание и чтение схем.

Во многих случаях символы, условно изображающие элементы электрического оборудования, в какой-то степени отражают наиболее характерные черты или формы очертания самого оборудования, что облегчает их понимание и запоминание. Например, обмотка якоря тягового двигателя изображается окружностью, характерной для конструкции самого якоря (цилиндрическая форма якоря, на котором расположена обмотка) и коллектора, а наличие условного обозначения щеток подчеркивает, что это машина постоянного тока. Обмотки полюсов обозначают полуокружностями, изображающими витки. Конденсатор изображают двумя линиями, указывающими на наличие изолированных друг от друга пластин (обкладок), на которых под действием электрического поля скапливаются заряды, и т. д.

Другие символы отражают процессы, происходящие в изображенном элементе. Полупроводниковый диод, обладающий свойством пропускать электрический ток только в одном направлении, изображают в виде треугольника, острие которого указывает проводящее направление вентили.

Условные графические обозначения трансформаторов, машин, аппаратов, приборов, проводов, а также знаки, характеризующие род тока и виды соединения обмоток, установлены Государственными стандартами (ГОСТ) и являются обязательными при составлении электрических схем.

Первым Государственным стандартом, устанавливающим условные обозначения для электрических схем, в нашей стране был ГОСТ 7624 - 55, введенный в 1955 г. Затем ГОСТ 7624 - 62, ГОСТ 2.728 - 68, ГОСТ 2.730 - 68 и ГОСТ 2.738 - 68.

С 1 января 1974 г. на условные графические обозначения для электрических схем введены новые стандарты ГОСТ 2.728-74 и ГОСТ 2.755-74, заменившие прежние. Обозначения по новым стандартам некоторых аппаратов, приборов и их контактов отличаются от старых обозначений, что в ряде случаев видоизменяет начертания схем. В 1988 г. Государственным комитетом стандартов, мер и измерительных приборов СССР в ГОСТ 2.728-74 и ГОСТ 2.755-74 были внесены изменения. Применительно к схемам подвижного состава железных дорог наиболее существенными являются изменения в условных обозначениях катушек контакторов, электромагнитных вентилях и реле. Новый ГОСТ 2.755-87 используется до настоящего времени.

Перед тем, как начать изучение конкретной схемы локомотива или электропоезда, следует ознакомиться с условными графическими обозначениями, а также обратить внимание на их старые редакции.

Нужно иметь в виду, что весь подвижной состав, выпуск которого был начат до ввода ГОСТ 2.755-87, имеет схемы с условными обозначениями по ГОСТ 2.755-74. У подвижного состава, построенного в период, когда условные обозначения для схем еще не были стандартизированы, в схемах применены заводские условные обозначения, во многом отличные от предусмотренных стандартами. Эти обозначения встречаются в схемах электровозов серий Сс, ВЛ19, ВЛ22М; тепловозов ТЭ1, ТЭ2, Да, Дб, электросекций Сд, Ср, Сз и некоторых других сериях тягового подвижного состава, выпуск которых не был массовым. Так как перечисленные локомотивы и электросекции сняты с производства, то в их схемах изменения условных обозначений не проводили.

Их необходимо знать для чтения и изучения схем, вывешенных в кабинах, приведенных в инструкционных книгах и паспортах локомотивов, которые выпущены до введения нового ГОСТа.

1.2 Обозначения проводов, кабелей и установочных изделий

Согласно стандарту, провода, кабели и шины объединяются общим названием - линии электрической связи; ими соединяют условные обозначения элементов оборудования (катушки, обмотки, контакты). Соединение линий электрической связи при их пересечении обозначается точкой [1]. Если линий, изображающие провода, при пересечении электрически не соединяются, то точки не ставят.

Линии электрической связи вычерчивают горизонтально или вертикально. Горизонтальные линии образуют своеобразные строки, а вертикальные – столбцы. В исключительных случаях допускается изображение линий электрической связи под углом 45°.

Обычно строки схемы, подобно строкам в книге, читают по горизонтали слева направо. На схемах линии не отражают длины провода и поэтому их делают возможно короткими и прямыми. Если нужно показать пучок проводов, идущих параллельно, то для упрощения чертежа все провода заменяют одной линией с соответствующими разветвлениями или слияниями проводов. Так, например, изображаются пучки проводов, присоединяемых к контроллеру машиниста.

Толщина линий условных обозначений силовых цепей и их составных частей может быть вдвое или втрое больше, чем линии электрических связей, но допускается все обозначения выполнять линиями одной толщины. Однако нужно иметь в виду, что в некоторых условных обозначениях толщина линий, которыми они вычерчиваются, имеет определяющее значение и является отличительным признаком данного условного обозначения.

При изображении трехпроводной линии переменного тока все три провода вычерчивают линиями одинаковой толщины. В четырехпроводных системах нулевой провод может быть изображен линией меньшей толщины, чем остальные, но сплошной в отличие от ранее применявшегося обозначения нулевого провода штриховой линии.




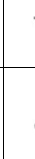
















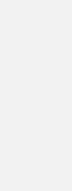

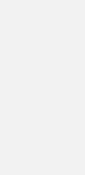


Фазы в сетях трехфазного тока обозначают прописными (большими) буквами А, В, С независимо от величины напряжения сети, а нулевую линию (нейтраль) – буквой "N". Допускается нулевую точку обозначать знаком "0".

Для изображения направлений передачи тока, сигнала или потока энергии на линии электрической связи наносится стрелка в нужном направлении. Присоединение линий электрической связи (проводов) к приборам, аппаратам и машинам обычно выполняется без применения знака электрического соединения (точки) как само собой разумеющееся.





















Провода, кабели, шины могут иметь однолинейное или многолинейное изображение. При однолинейном обозначении несколько проводов изображают одной линией, нанося на нее наклонные черточки в количестве, равном числу проводов, или одну черточку, а цифровой указывают число проводов. В схемах локомотивов и электропоездов применяют в основном многолинейное обозначение.

Условные графические обозначения проводов, кабелей и установочных изделий в соответствии с ГОСТ 2.414 - 75 и ГОСТ 2.721 - 68 приведены в таблице 1.1





















Таблица 1.1 – Условные графические обозначения проводов, кабелей и установочных изделий

Обозначение	ГОСТ 2.414 - 75	ГОСТ 2.721 - 68	Примечание
Линия электрической связи, провода, кабели и шины.			 или 
При наличии текста к кабелю, шине или проводу текст помещают: над линией, в разрыве линии, в начале или в конце линии			
Пересечение линий, электрически не соединенных проводов, кабелей и шин.			
Линия электрической связи с ответвлениями.			
Контакт разборного контактного соединения	 или 	 или 	
Контакт неразборного контактного соединения	 или 	нет	
Колодка зажимов		нет	
Колодка зажимов с разъемными контактами	 	нет	

Продолжение таблицы 1.1

Обозначение	ГОСТ 2.414 - 75	ГОСТ 2.721 - 68	Примечание
Колодка зажимов с разборными неразборными контактами		нет	
Контакт разъёмного контактного соединения			
Группа контактов разъёмного контактного соединения			
Гнездо разъёмного контактного соединения			
Группа гнезд разъёмного контактного соединения			
Штырь разъёмного контактного соединения			
Группа штырей разъёмного контактного соединения			

Продолжение таблицы 1.1

Обозначение	ГОСТ 2.414 - 75	ГОСТ 2.721 - 68	Примечание
Провод экранированный	 или 		-
Линия электрической связи, выполненная гибким проводом			
Линия электрической связи выполненная скрученным проводом		нет	-
Линия групповой связи			Цифры у основания проводов обозначают их порядковый номер в схеме
Кабель коаксиальный			-
Лампа осветительная			
Лампа прожектора (фара)			
Предохранитель плавкий			

Окончание таблицы 1.1

Обозначение	ГОСТ 2.414 - 75	ГОСТ 2.721 - 68	Примечание
Предохранитель сигнализирующим устройством			
Звонок электрический			-
Сирена электрическая			-
Гудок			-
Электро-измерительный прибор			Для указания назначения прибора в окружность вписывают обозначения единиц измерения или характерные буквы наименования прибора.
Соединение с корпусом			-
Заземление			-
Примечание В электрических схемах локомотивов чаще всего применяется нестандартное обозначение разъемного клеммного соединения (рисунок 1.1).			

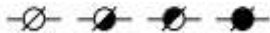


Рисунок 1.1 – Условное обозначение разъемного соединения в электрических схемах тепловозов

1.3 Обозначения реле и контакторов

В цепях локомотива или электропоезда при эксплуатации происходит большое количество различных переключений [2]. Эти переключения необходимы для осуществления процесса пуска, регулирования скорости движения, запуска и остановки вспомогательных машин и устройств, установления необходимого режима работы электрооборудования. Каждое переключение изменяет цепь прохождения электрического тока, т. е. вносит изменение в электрическую схему. На рисунке 1.2 представлены обозначения электромагнитного реле согласно действующего ГОСТ 2.414 – 75 (рисунок 1.2 а, б), согласно устаревшего ГОСТ 2.721 – 68 (рисунок 1.2 в), а также стандарту, принятому на территории ЕС и США (рисунок 1.2 г)

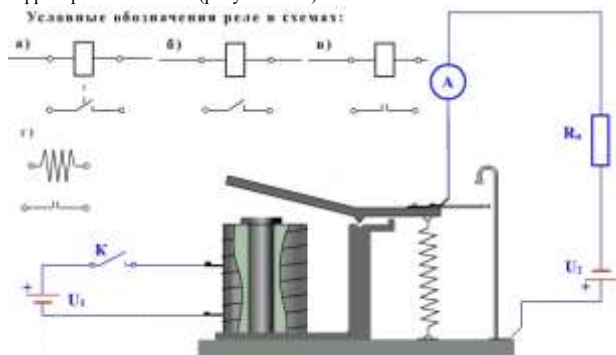


Рисунок 1.2. – Схема работы электромагнитного реле

Коммутирующие аппараты и устройства изображают, как правило, в отключенном положении, т. е. при отсутствии тока во всех цепях и принудительных сил, действующих на подвижные системы и контакты. У отключенных аппаратов контакты могут быть как разомкнуты, так и замкнуты (очень часто аппараты имеют и те, и другие контакты). Если контакт при отключенном аппарате разомкнут, то его называют замыкающим, замкнут – размыкающим. При включении аппарата замыкающий контакт соединяет цепь, в которую он включен, а

размыкающий – разрывает эту цепь. Это относится к аппаратам, имеющим отключенное положение (контакторы, реле, выключатели) (рисунок 1.3 и 1.4).

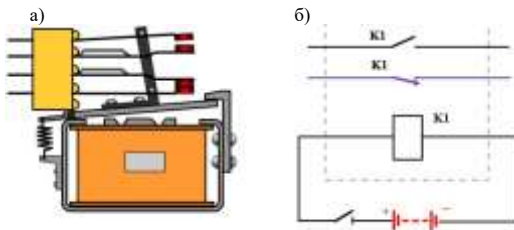


Рисунок 1.3. Процесс включения электромагнитного реле
а – положение контактной группы электрического аппарата, б – процессы, происходящие в электрической цепи

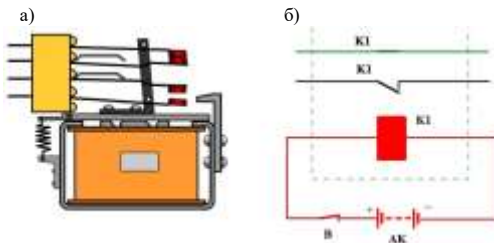


Рисунок 1.4 – Процесс выключения электромагнитного реле
а – положение контактной группы электрического аппарата, б – процессы, происходящие в электрической цепи

Однако на подвижном составе применяют двух- или трехпозиционные аппараты, у которых нет отключенного положения. Например, двухпозиционные реверсоры и тормозные переключатели имеют два рабочих положения - «Вперед» или «Назад» для реверсора, «Тяговое» и «Тормозное» для тормозного переключателя. Переключатель

вентиляторов – положения, соответствующие высокой или *низкой* скорости вращения вентиляторов; групповой переключатель на электровозах постоянного тока - три положения, соответствующих последовательному (серийному (С), последовательно-параллельному (серийно-параллельному (СП) и параллельному (П) соединению тяговых двигателей и др.

Аппараты, не имеющие отключенного положения, изображают на схемах в одном из рабочих положений, принятом за исходное. Так, для реверсора – это положение «Вперед», т. е. соответствующее движению вперед головной кабиной локомотива или моторного вагона; у двухпозиционного тормозного переключателя - тяговое (моторное); у переключателя вентиляторов - положение, соответствующее высокой скорости; для группового переключателя электровозов – соответствующее последовательному соединению электродвигателей; у переключателя обмоток – положение встречного соединения; для отключателей двигателей и разъединителей вентилей – включенное положение и т. д. Исходное положение аппарата обязательно оговаривают в примечаниях к чертежу.

Переключатели ступеней (главные контроллеры), контроллеры машиниста и другие подобные аппараты обычно имеют выключенное (нулевое) положение, которое и является исходным. Элементы схем тепловозов изображают в положении, соответствующем остановленному дизелю.

За исходное положение аппарата с электропневматическим приводом принимают такое, при котором к нему подведен сжатый воздух, а цепи управления вентилями обесточены. Это важно учитывать для аппаратов, управляемых электропневматическими вентилями выключающего типа, так как в этом случае один из цилиндров аппарата будет сообщен со сжатым воздухом, что не соответствует его исходному состоянию.

При отключенном или исходном положении аппарата его замыкающие контакты на схеме показывают разомкнутыми (они замкнутся только после срабатывания аппарата), а размыкающие - замкнутыми (разомкнутся после срабатывания аппарата). Подвижные контакты реле, выключателей и кнопок рекомендуется изображать исходя из условия, что сила, приводящая к срабатыванию, должна быть направлена (на схеме) сверху вниз при горизонтальном изображении цепей и слева направо при вертикальном.

По ГОСТ 2.738 - 68 применялась другая терминология: отключенное состояние коммутирующих аппаратов именовали «нормальным», соответственно этому замыкающие контакты называли «нормально

открытыми», а размыкающие – «нормально закрытыми». Для силовых и блокировочных контактов можно встретить следующие названия: «прямой» и «обратный» контакты, «включающая» и «выключающая» блокировки и др. В целях однозначного понимания следует принимать определения, рекомендуемые ГОСТ 2.755 - 87.

В любой схеме показано много контактов, принадлежащих однотипным или разным аппаратам. К тому же контакты, блокировки, катушки, обмотки и другие элементы аппарата или машины изображают в различных местах схемы или даже в различных схемах. Например, силовые контакты реверсора показаны в силовой схеме, а катушки электромагнитных вентилей и блок-контакты – в схеме управления. Принятые обозначения не позволяют определить принадлежность элементов к аппаратам или машинам.
























Для того чтобы определить, элементы какого оборудования изображены на схеме, о каком аппарате идет речь, какому из числа аналогичных принадлежат контакты, условные обозначения дополняют буквами или цифрами. Такие надписи делают или внутри условного обозначения (прямоугольника), или над ним, или справа от него, но так, чтобы было понятно, к какому изображению они относятся. В необходимых случаях буквенные обозначения можно дополнять цифровыми.




















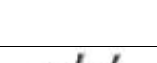





Спецификация оказывает большую помощь при чтении и изучении схемы и является ее неотъемлемой частью. Прежде чем приступить к детальному разбору схемы, нужно подробно ознакомиться со спецификацией.

Условные графические обозначения электромагнитных реле, контакторов и коммутационных устройств приведены в таблице 1.2

Таблица 1.2 – Условные графические обозначения электромагнитных реле, контакторов и коммутационных устройств [3]

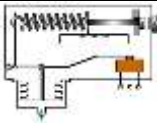


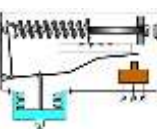
Наименование обозначения	ГОСТ 2.414-75	ГОСТ 2.721-68	Примечание
Катушки электромагнитных реле и контакторов			
1. Катушка электромагнитного реле. Общее обозначение			

Наименование обозначения	ГОСТ 2.414-75	ГОСТ 2.721-68	Примечание
2. Катушка поляризованного реле			
3. Катушка электромагнитного реле времени			
4. Токовая катушка электромагнитного реле			
5. Катушка напряжения электромагнитного реле			
Контакты коммутационных устройств электромагнитных реле и контакторов			
6. Замыкающий блокировочный контакт реле или контактора			
7. Размыкающий блокировочный контакт реле или контактора	 или 		
8. Перекидной блокировочный контакт реле или контактора			
9. Блокировочный контакт, имеющий нейтральное положение			

Наименование обозначения	ГОСТ 2.414-75	ГОСТ 2.721-68	Примечание
10. Замыкающий силовой контакт контактора			
11. Размыкающий силовой контакт контактора			
12. Замыкающий силовой контакт контактора с дугогашением			
13. Размыкающий силовой контакт контактора с дугогашением			
14. Замыкающий контакт с автоматическим срабатыванием			
15. Замыкающий контакт выключателя			
16. Замыкающий контакт разъединителя			
17. Замыкающий контакт разъединителя групповой			
18. Замыкающий контакт концевого выключателя			

Наименование обозначения	ГОСТ 2.414-75	ГОСТ 2.721-68	Примечание
19. Размыкающий контакт концевого выключателя			
20. Контакт замыкающийся с замедлением при срабатывании	 или 		
21. Контакт замыкающийся с замедлением при возврате	 или 		
22. Контакт замыкающийся с замедлением при срабатывании и возврате			
23. Контакт размыкающийся с замедлением при срабатывании	 или 		
24. Контакт размыкающийся с замедлением при возврате	 или 		

Наименование обозначения	ГОСТ 2.414-75	ГОСТ 2.721-68	Примечание
25. Контакт размыкающийся с замедлением при срабатывании и возврате			
26. Контакт нажимного кнопочного выключателя с размыканием автоматически			
27. Контакт нажимного кнопочного выключателя с размыканием путем повторного нажатия			
28. Выключатель ручной (ножной)			
29. Контакт, чувствительный к температуре замыкающий			
30. Контакт, чувствительный к температуре размыкающий			
31. Контакт, чувствительный к давлению замыкающий			

Наименование обозначения	ГОСТ 2.414-75	ГОСТ 2.721-68	Примечание
			
32. Контакт, чувствительный к давлению размыкающий			

Переключения электрических цепей в основном производят **реле и контакторами**, являющимися основными коммутирующими аппаратами. При помощи контакторов осуществляется дистанционное управление электрооборудованием.

Силовые контакты контактора показывают на схеме локомотива или электропоезда согласно таблице. Если контакторы имеют дугогасительные устройства, то эти устройства также обозначают на схеме соответствующим символом. Включение и выключение контакторов производятся специальными приводами, управление которыми осуществляется дистанционно при помощи электрических цепей низкого напряжения. Эти цепи обычно изображают в схемах управления.

Для обеспечения установленной последовательности включения реле и контакторов, согласования их срабатывания с работой других аппаратов и машин в электрической цепи реле и контакторы **снабжены блокировочными устройствами**, которые также изображают в схемах цепей управления.

Различают **индивидуальные и групповые контакторы**. На схемах силовые контакты тех и других контакторов изображают **одинаковыми символами** и отличить их непосредственно на схеме нельзя. Как же установить, где на схеме изображен контакт индивидуального, а где группового контактора? Это можно сделать, пользуясь дополнительными данными, которые обычно помещают на тех же чертежах, где вычерчены

схемы, или прилагают к ним (например, в виде пояснительной записки или инструкции). Так, по надписям на схеме определяют номера интересующих нас контакторов, а по этим номерам и по спецификации машин и аппаратов, прилагаемой к каждой схеме, устанавливают наименование аппаратов, которым они принадлежат.

Определить, что контакты принадлежат индивидуальным контакторам, можно также с помощью спецификации машин и аппаратов: установив номер контактора на схеме, в графе «Наименование оборудования», читают, что это «контактор электромагнитный» или «контактор электропневматический». Обе эти надписи свидетельствуют о том, что контактор является индивидуальным.

Индивидуальные контакторы обычно имеют приводы электромагнитные или электропневматические. Электромагнитный привод непосредственно осуществляет включение аппарата при возбуждении его подъемной катушки. Электропневматический контактор имеет пневматический привод, управляемый электромагнитным вентилем, впускающим сжатый воздух в пневматический цилиндр привода. Приводы индивидуальных контакторов изображают на схемах символами, обозначающими обмотку контактора подъемную катушку для электромагнитных контакторов и катушку электромагнитного вентиля для электропневматических контакторов. Блок-контакты контакторов обозначают теми же символами, что и силовые.

На совмещенной схеме цепей индивидуального контактора тепловоза показаны силовые контакты, катушка электромагнитного вентиля и блок-контакты. Причем цепь силовых контактов выполнена линиями более толстыми (жирными), чем цепь блокировочных. Горизонтальные линии обозначают провода, а цифры над ними указывают номера проводов, в цепи которых включены контакты и катушки по схеме силовой цепи и цепи управления.

При чтении электрических схем и рассмотрении инструкционных материалов нужно помнить, что контакторы в зависимости от места, их включения и выполняемых ими функций имеют свои наименования. Так, контакторы, переключающие пусковые сопротивления (реостаты), называют реостатными, замыкающие цепи тормозных сопротивлений и возбудителя - тормозными, включающие силовую цепь (линию) на первой позиции контроллера машиниста - линейными, а цепь тяговых двигателей на переходных позициях - переходными, образующие мостовую схему в силовой цепи тяговых двигателей, - мостовыми, включающие цепь тяговых двигателей тепловозов - поездными, образующие цепи ослабления поля (цепи ослабления возбуждения), -

шунтирующими, включающие цепи возбуждения главного генератора на тепловозах, - контакторами возбуждения.

На схемах не всегда показывают все цепи контакторов часто приводят только блок-контакты, по которым можно определить место каждого блок-контакта в цепи управления.

Групповыми контакторами или групповыми переключателями, реостатными, силовыми и главными контроллерами в зависимости от функций, которые они выполняют (например, переключение групп двигателей, ступеней сопротивлений и т. д.), именуют аппараты, состоящие из групп силовых контакторных элементов. Последние приводятся в действие кулачковыми шайбами, насаженными на один вал, приводимый во вращение общим (групповым) приводом.

Контроллером называют многопозиционный **групповой переключатель**. Контроллеры машиниста представляют собой **многопозиционные контактные переключающие устройства**. Бывают **барabanные** и **кулачковые** контроллеры, последние получили преимущественное распространение на подвижном составе более позднего выпуска. Схемы соединения их электрических цепей несколько различны. **Переключение цепей управления** в контроллере осуществляется или **контактными пальцами** и вращающимся контактным барабаном, или **кулачковыми элементами**, которые переключаются кулачковыми шайбами.

Электрические схемы контроллеров отражают **особенности их устройства и выполняемых ими функций**.

Любой контроллер имеет несколько рукояток, каждая из которых предназначена для производства определенных переключений. Так, **реверсивная**, обычно съемная рукоятка переключает контактные элементы цепей реверсора и имеет положения, соответствующие **выбранному направлению движения** («Вперед» и «Назад») и, кроме того, нулевое, при котором она может быть извлечена из контроллера. Часто реверсивной рукояткой также осуществляют переключения, необходимые для осуществления режима ослабленного поля тяговых электродвигателей.

При рассмотрении электрических схем следует помнить, что переключения контактных систем контроллера, необходимые для набора позиций при пуске и выборе ходовых скоростей движения, производят **главной рукояткой**, сбор цепей электрического торможения и выбор тормозного режима осуществляются **тормозной рукояткой**, а выбор способа соединения двигателей на электровозах постоянного тока при электрическом торможении - **селективной рукояткой**. На схемах

рукоятки контроллера не изображают, а показывают **развертки кулачковых валов или барабанов** и системы контактов.

Распределение функций между рукоятками, а, следовательно, и между управляемыми ими барабанами или кулачковыми валами предопределяет в известной степени построение электрических цепей контроллера.

Схема контроллера зависит от того, автоматический или неавтоматический способ управления осуществлен на данном локомотиве. На **электровазах постоянного тока** с неавтоматическим управлением главная рукоятка (а также тормозная, если есть электрическое торможение) имеет число фиксированных позиций, равное числу ступеней пуска, регулирования скорости или торможения. Их показывают вертикальными штриховыми линиями.

На **электропоездах**, а также электровазах переменного тока, где обычно применяют автоматическое управление при пуске и, наборе позиций, число фиксированных позиций контроллера меньше. В таких случаях ручной набор возможно осуществить попеременным перемещением главной рукоятки между двумя предназначенными для этой цели фиксированными позициями.

На **тепловозах** контроллер имеет две рукоятки: главную, при помощи которой осуществляется управление дизелем и электрооборудованием, и реверсивную.

Все рукоятки контроллера взаимно заблокированы, и их перемещение, а, следовательно, **замыкание цепей схемы происходит в строго определенном порядке**. Для правильного понимания электрических схем контроллеров необходимо знать систему механического блокирования его рукояток.

На **электрических схемах** контроллеры машиниста показывают **в развернутом виде** (рисунок 1.5).

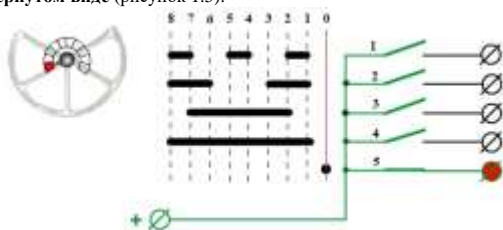


Рисунок 1.5. Развертка контроллера машиниста

Справа обычно изображают **ряд контактов** (контакторных элементов) контроллера в состоянии, соответствующем нахождению всех его рукояток в нулевом положении, и подключенные к ним провода цепи управления. **Слева помещают условное изображение развертки барабана** или кулачкового вала, при этом зачерненные полосы или точки на развертке, находящиеся на вертикальных штриховых линиях, соответствуют включенному состоянию контакторного элемента. **Штриховыми вертикальными линиями** отмечены фиксированные позиции.

Все контакты (контакторные элементы), кроме одного (нижнего), изображают разомкнутыми. При рассмотрении схем условно считают, что контакторные элементы контроллера находятся в неподвижном состоянии, а **развертка кулачкового вала** или барабана надвигается на них **до совмещения вертикальной штриховой линии** интересующей нас фиксированной позиции с осью контактов. На каждой позиции замкнуты будут те контакты, с которыми совпадут зачерненные полосы (или точки). Питание к контроллеру подводится от аккумуляторной батареи.

Перевод каждого из валов на какую-либо позицию **приводит к замыканию** соответствующих контакторных элементов и **подаче питания** на присоединенные к ним провода, обозначенные цифрами. От контакторных элементов контроллера провода идут в низковольтный кабель или пучок и в дальнейшем присоединяются к аппаратам согласно схеме цепи управления.

Питание цепей контроллера тепловоза осуществляется через кнопку «**Управление**» и подключенному к перемычке, соединяющей пальцы контакторных элементов контроллера.

При перемещении главной рукоятки контроллера на другие позиции происходит замыкание соответствующих контактных пальцев, и на подсоединенные к ним провода будет подаваться напряжение. В результате произойдет включение присоединенных к этим проводам контакторов и реле.

Нужно помнить, что **групповые контакторы** обычно имеют **электропневматические или электромагнитные приводы**.

Групповыми переключателями с электропневматическим приводом управляют при помощи электромагнитных вентилях: включающих и выключающих (рисунок 1.6). На схемах электропневматический привод обозначают несколькими (двумя, тремя или четырьмя) катушками

электромагнитных вентилях, осуществляющих впуск сжатого воздуха в цилиндры привода.

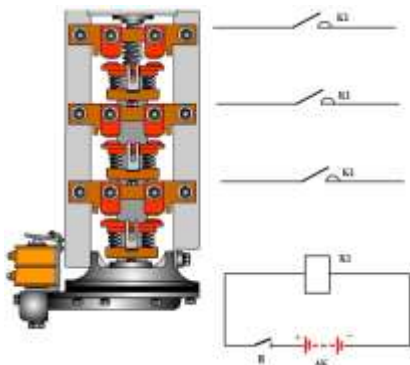


Рисунок 1.6. Схема работы группового контактора:
а - общий вид, б - принципиальная электрическая схема

Добавлено примечание (П1):

Эти обозначения обычно размещают в пределах штрихового контура. В зависимости от типа вентиля возле его катушки пишут «вкл» - для включающих вентилях и «выкл» - для выключающих. Для правильного понимания схемы необходимо твердо помнить, что включающий вентиль при возбуждении катушки впускает сжатый воздух в управляемый им цилиндр, а при обесточенной катушке соединяет этот цилиндр с атмосферой - от этого зависит положение кулачкового вала в аппарате, а, следовательно, и положение контактора в схеме. Выключающий вентиль, наоборот, при возбуждении катушки соединяет цилиндр с атмосферой, а в обесточенном состоянии впускает в цилиндр сжатый воздух.

Реверсоры осуществляют переключения в силовых цепях **направления тока в обмотках возбуждения** тяговых электродвигателей без разрыва тока, а поэтому дугогасительными устройствами их не оборудуют, что и отражено в обозначениях их контактов.

Реверсоры имеют электропневматические приводы, управляемые электромагнитными вентилями включающего типа. На схемах обычно показывают катушки этих вентилях.

Бывают двухпозиционные (положения «Вперед» и «Назад») и трехпозиционные (положения «Вперед», «Назад» и «О») реверсоры.

В силовых схемах локомотивов узел обмотки двигателя с контактами реверсора изображают для положения «Вперед». Чтобы представить себе соединения в положении «Назад», необходимо мысленно переключить силовые контакты реверсора (рисунок 1.7).

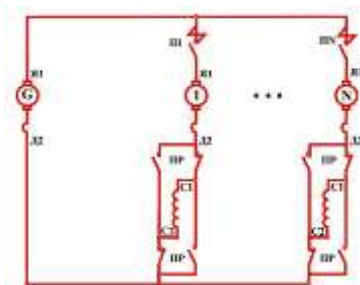


Рисунок 1.7. Схема соединения обмоток тягового электродвигателя

Схема переключения обмотки возбуждения кулачковым реверсом показана на рисунок 1.8.

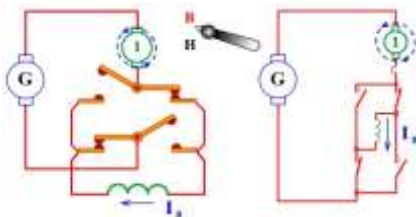


Рисунок 1.8. Схема работы реверсора и его условное обозначение

Каждая пара контактов принадлежит одному кулачковому контакторному элементу. При показанном на схеме исходном положении силовых контактов реверсора (соответствует положению реверсора «Вперед») оказываются замкнутыми его размыкающие контакты. При этом ток в обмотке возбуждения тягового двигателя будет направлен от вывода С1 к выводу С2. После переключения реверсора в положение

«Назад» замкнутся его контакты и направление тока в обмотке возбуждения двигателя изменится на противоположное, и мы вправе утверждать, что тяговый двигатель изменит направление вращения.

Как и групповые переключатели, реверсоры имеют блок-контакты, включаемые в цепи управления.

Во всех случаях силовая цепь оказывается замкнутой только после того, как реверсоры переключаются в свое рабочее положение. Построение схемы гарантирует переключение реверсора только при разомкнутой силовой цепи и постановку его в положение, соответствующее положению реверсивной рукоятки контроллера машиниста. После установки реверсора в рабочее положение катушка его вентиля не выключается, а остается возбужденной, что предотвращает его самопроизвольный поворот под током во время движения.

В трехпозиционном реверсоре, примененном на электро-возе ВЛ60 с рекуперативным торможением, кроме двух обычных положений «Вперед» и «Назад», имеется третье **нулевое (0)** положение. В этом положении силовые контакты реверсора, соединяющие обмотки возбуждения с цепью тяговых двигателей, размыкаются.

1.4 Обозначения резисторов и конденсаторов

Резисторы и реостаты. Закон Ома наглядно показывает, что силу тока в электрической цепи можно изменять, включая в нее различные сопротивления. Этим свойством широко пользуются в практике для регулирования и ограничения тока в обмотках двигателей, генераторов и других электрических потребителях. Электрический аппарат, предназначенный для включения в электрическую цепь с целью регулирования или ограничения проходящего по ней тока, называют **резисторами**. Резисторы с регулируемым сопротивлением называют реостатами.

Резисторы и реостаты обычно изготавливают из проволоки или ленты, материалом для которых служат сплавы металлов, обладающие **высоким удельным сопротивлением** (константан, никелин, манганин, фехраль и др.). Это дает возможность для изготовления резисторов применять проволоку меньшей длины. В электрических цепях, по которым проходят сравнительно небольшие токи, например, в устройствах электроники и радиотехники, часто применяют непровольчатые резисторы, а резисторы, выполненные из графита или синтетических материалов.



















Реостаты могут выполняться с **плавным** или **ступенчатым** изменением сопротивления.



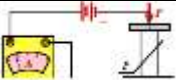


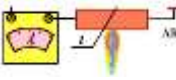


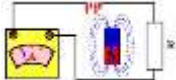










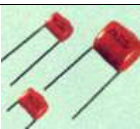
Перемещая подвижный контакт, можно изменять длину проволоки, расположенной между зажимами реостата, и тем самым изменять сопротивление.

Для пуска и регулирования электрических двигателей локомотивов применяют реостаты со ступенчатым изменением сопротивления. Отдельные секции такого реостата в процессе работы замыкаются накоротко дистанционно управляемыми выключателями, называемыми контакторами.

Условные графические обозначения резисторов и конденсаторов приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Условные графические обозначения резисторов и конденсаторов[26]

Наименование обозначения	ГОСТ 2.728-74	ГОСТ 2.721-68	Примечание
Резисторы			
1. Резистор постоянный			
2. Резистор постоянный с дополнительным отводом			
3. Резистор постоянный с двумя дополнительными отводами			
4. Резистор постоянный подстроечный			
5. Резистор переменный			
6. Резистор переменный с дополнительными выводами			

Наименование обозначения	ГОСТ 2.728-74	ГОСТ 2.721-68	Примечание
7. Тензорезистор			
8. Терморезистор			
9. Магниторезистор			
10. Резистор переменный сдвоенный			
11. Шунт амперметра			
12. Электронагреватель			
Конденсаторы			
13. Конденсатор постоянной емкости			

Наименование обозначения	ГОСТ 2.728-74	ГОСТ 2.721-68	Примечание
14. Конденсатор постоянной емкости электролитический полярный			
15. Конденсатор постоянной емкости электролитический неполярный		нет	
16. Конденсатор переменной емкости			
17. Конденсатор переменной емкости подстроечный			
18. Конденсатор постоянной емкости проходной			

Конденсатор представляет собой устройство, способное накапливать электрический заряд. Простейшим конденсатором являются две металлические пластины (электроды), разделенные между собой диэлектриком.

При заряде конденсатора свободные электроны, имеющиеся на одном из его электродов, устремляются к положительному полюсу источника, вследствие чего этот электрод становится положительно заряженным. Электроны с отрицательного полюса источника устремляются ко второму электроду и создают на нем избыток электронов, поэтому он становится отрицательно заряженным.

При отключении от источника конденсатор **способен длительное время сохранять накопленные электрические заряды**. Заряженный конденсатор является источником электрической энергии.

В зависимости от применяемого диэлектрика конденсаторы бывают **бумажными, слюдяными и воздушными**. Используя материалы с высокой диэлектрической проницаемостью удается при тех же размерах конденсатора увеличить в несколько раз его емкость. Для того чтобы увеличить площадь электродов конденсатора, его делают обычно многослойными.

В электрических установках переменного тока обычно применяют **силовые конденсаторы**. В них электродами служат длинные полосы из алюминиевой, свинцовой или медной фольги, разделенные несколькими слоями диэлектрика. В системах энергоснабжения промышленных предприятий и электрифицированных железных дорог улучшения для использования электрической энергии.

В цепях постоянного тока часто устанавливают **электролитические конденсаторы**. Их изготавливают из двух скатанных в рулон тонких алюминиевых лент, между которыми проложена бумага, пропитанная специальным электролитом. при включении электролитического конденсатора в цепь постоянного тока необходимо строго соблюдать полярность полюсов. При неправильном включении диэлектрик пробивается. По этой причине электролитические конденсаторы нельзя включать в цепь переменного тока и в устройствах, работающих при высоких напряжениях.

В радиотехнических устройствах применяются конденсаторы **переменной емкости и подстроечные конденсаторы**. Такие конденсаторы состоят из системы подвижных и неподвижных пластин. Подвижные пластины могут перемещаться относительно неподвижных, что приводит к изменению емкости конденсатора.

1.5 Обозначение электромагнитных устройств

Трансформаторы. На электрических схемах локомотивов **однофазные трансформаторы** изображают в виде **сердечника и обмоток**, **трехфазные** показывают обычно **одними обмотками без сердечника** (рисунок 1.9).

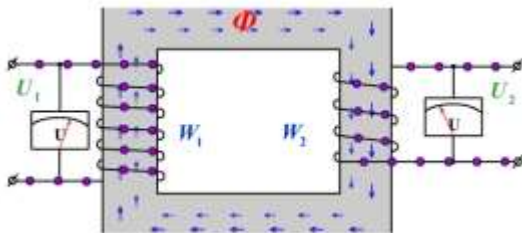


Рисунок 1.9. Принцип работы трансформатора

Выводы обмоток принято обозначать буквами **Н и К (начало и конец)**. С целью **регулирования напряжения** на обмотках трансформатора могут быть предусмотрены **отпайки (выводы)** от промежуточных витков или же обмотки могут состоять из отдельных изолированных частей (секций). Последние в некоторых случаях также имеют выводы, иногда их выполняют без выводов. Отпайки и выводы на схемах тяговых трансформаторов обычно обозначают цифрами (рисунок 1.10).

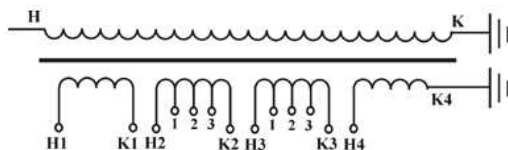


Рисунок 1.10. Схема обмоток тягового трансформатора ОЦР 5600/25П

Секции обмотки тягового трансформатора, имеющие отпайки, принято называть **регулируемыми**, а секции, не имеющие отпайек, - **нерегулируемыми**. Регулируемые и нерегулируемые части вторичной

обмотки могут быть **соединены различно**, например, **согласно** - тогда их напряжения суммируются, или **встречно** - тогда их напряжения вычитаются.




В зависимости от направления намотки витков могут быть **левые и правые обмотки** трансформаторов, что важно знать при определении маркировки выводов и группы соединений. В необходимых случаях направление намотки указывают на схемах.






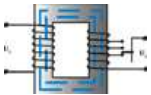









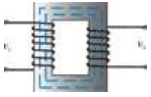
Вторичная обмотка трансформаторов, применяющаяся для двухполупериодного выпрямления тока, имеет выведенную среднюю точку 0 (нулевой вывод). Если применяют мостовую схему выпрямления, то среднюю точку не делают.





Реакторы. Конструктивно реакторы выполняют в виде **катушек индуктивности с сердечником** или без сердечника.

Условные графические обозначения трансформаторов и магнитных усилителей приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Условные графические обозначения трансформаторов и магнитных усилителей

Наименование обозначения	ГОСТ 2.723-68	ГОСТ 7624-62	Примечание
1. Обмотка трансформатора, автотрансформатора			
2. Рабочая обмотка магнитного усилителя		нет	

Наименование обозначения	ГОСТ 2.723-68	ГОСТ 7624-62	Примечание
3. Обмотка управления магнитного усилителя		нет	
4. Обмотка трансформатора с указанием ее начала		нет	
5. Обмотка трансформатора с отводами			
6. Дроссель с ферромагнитным сердечником			
7. Дроссель с магнитоэлектрическим сердечником		нет	
8. Дроссель с подстраиваемым ферромагнитным сердечником		нет	
9. Трансформатор с ферромагнитным сердечником			

Наименование обозначения	ГОСТ 2.723-68	ГОСТ 7624-62	Примечание
10. Трансформатор с магнитоэлектрическим сердечником			
11. Трансформатор с несколькими обмотками			
12. Магнитный усилитель			
13. Магнитный усилитель с несколькими обмотками управления			

Магнитные усилители и регулируемые трансформаторы на локомотивах и моторвагонном подвижном составе **применяют в системах автоматического управления и регулирования** напряжения.

Магнитные усилители представляют собой ферромагнитные устройства, в которых мощность подводимых электрических сигналов усиливается за счет энергии местных источников. Действие магнитных усилителей основано на использовании такого важного свойства ферромагнитных материалов, как нелинейный характер процесса намагничивания, и явления гистерезиса (рисунок 1.11).

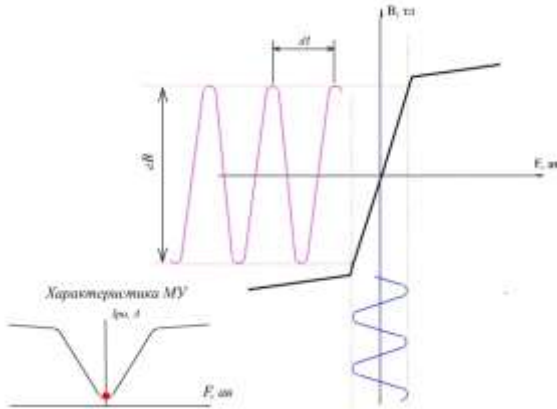


Рисунок 1.11. Принцип работы простого магнитного усилителя

Величина индуктивного сопротивления переменному току, протекающему по обмотке, намотанной на сердечник, будет резко изменяться в зависимости от магнитного состояния сердечника, имея наибольшее значение при небольшом насыщении и резко уменьшаясь при значительном насыщении.

Для регулирования магнитного состояния сердечника на него наматывают обмотки подмагничивания, на которые и подается управляющий ток. Обмотки подмагничивания называют обмотками управления. Рабочую обмотку включают в цепь нагрузки, в которой осуществляется регулирование (рисунок 1.12).

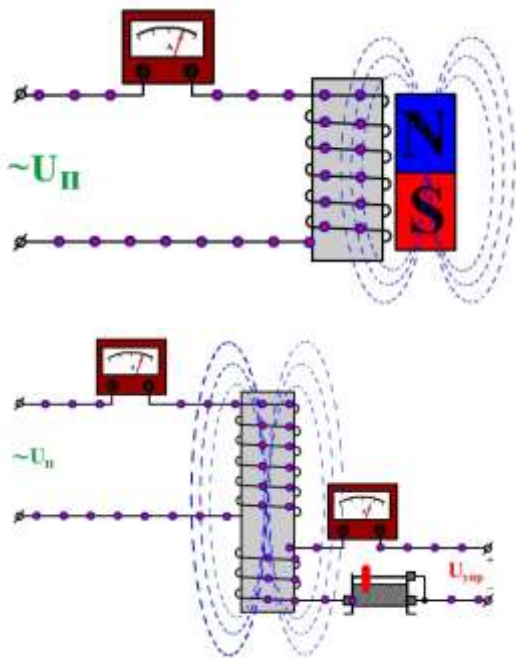


Рисунок 1.12. Методы подмагничивания сердечников

Простейший магнитный усилитель состоит из двух замкнутых тороидальных сердечников, на которых размещены две рабочие обмотки и обмотка управления (рисунок 1.13).

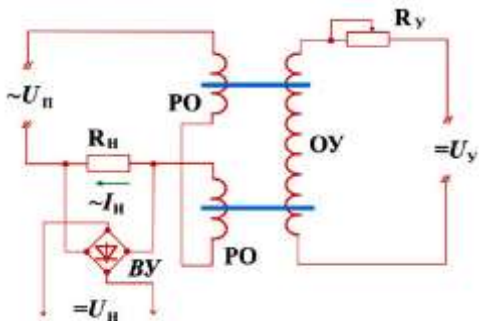


Рисунок 1.13. Схема простейшего магнитного усилителя

Из рисунка 1.13 ясно, что рабочая обмотка включена в цепь источника переменного тока, питающего нагрузку. Обмотка управления питается постоянным током. При изменении величины тока обмотки управления изменяется магнитное состояние сердечника. Это, как известно, приводит к изменению индуктивного сопротивления рабочей обмотки, в результате чего изменяется напряжение ток в нагрузке.

Для того чтобы исключить влияние э. д. с., индуцируемых в обмотках управления при прохождении по рабочим обмоткам переменного тока, магнитные усилители состоят из двух сердечников, а их обмотки соединяют так, чтобы э.д.с., индуцированные в рабочих обмотках, складывались, а в обмотках управления были направлены встречно и взаимно уничтожились. Рабочие обмотки магнитного усилителя соединены согласно, а обмотки управления - встречно.

Магнитные усилители могут иметь не одну, а несколько обмоток управления, тогда потоки, создаваемые ими, будут суммироваться. Кроме того, на сердечниках магнитного усилителя может быть размещена обмотка смещения, создающая постоянную по величине намагничивающую силу, смещающую рабочую точку на характеристике усилителя при отсутствии управляющего сигнала. Намагничивающие силы обмотки смещения и обмотки управления направлены встречно (рисунки 1.14).

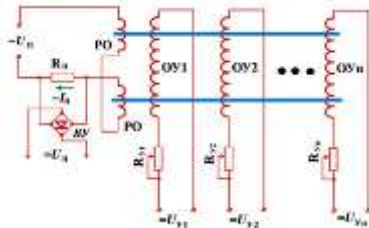


Рисунок 1.14. Схема магнитного усилителя с несколькими обмотками управления

Для улучшения характеристик магнитных усилителей их выполняют с обратной связью, которая образуется путем воздействия тока или напряжения нагрузки на вход усилителя. Надо помнить, что обратная связь может быть **положительной**, если ее воздействие усиливает действие основного сигнала обмотки управления, или **отрицательной**, когда ее воздействие уменьшает действие основного сигнала (рисунок 1.15).

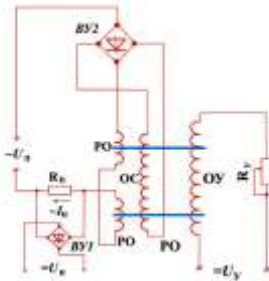


Рисунок 1.15. Схема магнитного усилителя с обратной связью

1.6. Обозначения полупроводниковых приборов

Провести резкую грань между **проводниками** и **диэлектриками** нельзя. Подавляющее большинство неорганических веществ по своим электрическим свойствам отличается и от проводников, и от диэлектриков, но в то же время в какой-то степени обладает характерными особенностями тех и других. Вещества, занимающие такое промежуточное положение, называются **полупроводниками**.

В твердом кристаллическом теле, состоящем из многих атомов, электрические и магнитные поля отдельных атомов оказывают влияние друг на друга, вследствие чего каждый энергетический уровень атома расщепляется на несколько близких уровней. Эти уровни образуют разрешенную энергетическую зону для атомов данного вещества, а в промежутках электроны находиться не могут.

Ширина запрещенной зоны определяется энергией, необходимой для перевода одного электрона с низшего разрешенного уровня на высший. Зона энергетических уровней, которые имеют электроны, участвующие в процессе проводимости, называется **зоной проводимости**. Следовательно, электропроводимость того или иного твердого вещества определяется шириной **запрещенной зоны**. Иными словами, она зависит от энергии, которую нужно сообщить валентным электронам для того, чтобы они могли перейти со своего нормального энергетического уровня на высший энергетический уровень. На этом уровне электроны теряют связь с ядром атома и становятся свободными, способными под влиянием внешнего электрического поля передвигаться между атомами вещества.

В **диэлектрике** (изоляторе) валентная зона и зона проводимости разделены широкой запрещенной зоной. Чтобы электрон смог преодолеть ее, надо затратить значительную энергию. Однако при попытке сообщить ее электрону произойдет пробой диэлектрика, т.е. непоправимое разрушение его структуры.

В **проводниках** (металлах) запрещенной зоны нет, зона проводимости и зона валентных электронов перекрывают друг друга. Поэтому и при обычных температурах электроны могут легко переходить из одной зоны в другую и участвовать в процессе проводимости.

В **полупроводниках** ширина запрещенной зоны невелика. Однако для ее преодоления необходимо затратить некоторую энергию. Поэтому электропроводность полупроводников меньше, чем у металлов. Важной особенностью полупроводников является то, что их электропроводность сильно зависит от незначительных **примесей**.

Примеси, увеличивающие число свободных электронов в полупроводнике, называют донорскими примесями. В этом случае имеем электронную проводимость (**n-проводимость**). При включении полупроводника типа **n** в цепь электрического тока в проводах, соединяющих полупроводник с источником тока, так же, как и в самом полупроводнике движутся свободные электроны (рисунок 1.16).

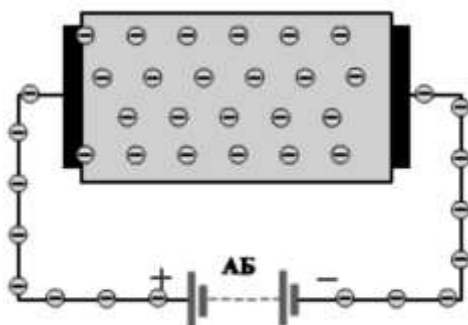


Рисунок 1.16. – Электронная проводимость

Если для полной связи в кристаллической решетке не хватает электронов, то в ней образуется дырка. Эта дырка долго существовать не может и легко заполняется электроном, освободившимся из-за разрыва какой-либо соседней связи, т.е. образуется дырка в другом месте. Поэтому **основными носителями** в данном случае будут **дырки (p-проводимость)**, а электроны будут неосновными. Когда дырки достигают отрицательного вывода, они заполняются электронами, подошедшими к этому выводу по соединительному проводу от источника питания. Электроны, покидающие полупроводник, направляются по второму соединительному проводу к источнику питания (рисунок 1.17).

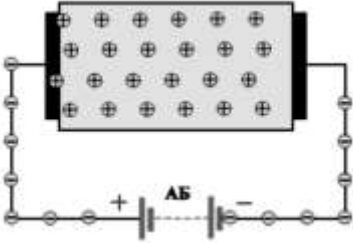


Рисунок 1.17. – Дырочная проводимость

В идеально чистом кристалле полупроводника при разрыве связей в одно и то же время возникает равное количество свободных электронов и дырок. При воздействии на такой полупроводник электрического поля электроны и дырки будут совместно участвовать в образовании электрического тока, обеспечивая перемещение положительных и отрицательных зарядов, называется **собственной проводимостью** (рисунок 1.18).

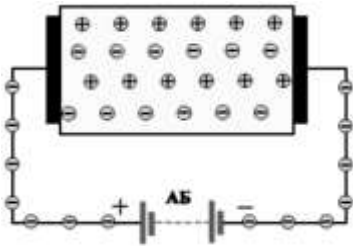


Рисунок 1.18. – Собственная проводимость

При соединении двух пластинок полупроводника, одна из которых обладает проводимостью **n**, а вторая **p**, электроны из полупроводника **n** будут стремиться проникнуть в полупроводник **p**, т.е. где имеется недостаток электронов. В результате полупроводник **n** теряет часть электронов и заряжается положительно. На границе образуется слой

положительно заряженных ионов. Аналогично дырки будут переходить из полупроводника **p** в полупроводник **n**, вследствие чего на границе раздела в полупроводнике **p** образуется слой отрицательно заряженных ионов (рисунок 1.19).

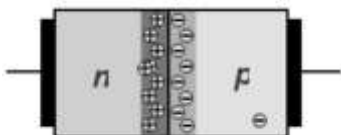





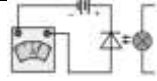

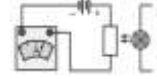

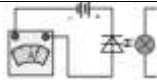











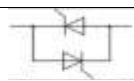



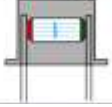
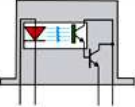


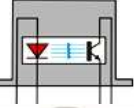







Рисунок 1.19. – Возникновение потенциального барьера в **p-n** переходе




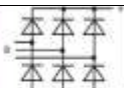
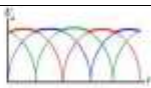

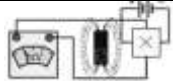
Условные графические обозначения полупроводниковых приборов приведены в таблице 1.5

Таблица 1.5 – Условные графические обозначения полупроводниковых приборов [12]

Наименование обозначения	ГОСТ 2.730-73	ГОСТ 2.730-68	Примечание
1.Диод Общее обозначение			
2.Стабилитрон односторонний			
3.Стабилитрон двухсторонний		нет	
4.Диод термо электрический		нет	
5.Варикап			

6.Диод двунаправленный		нет	
7.Диод светоизлучающий			
8.Фотодиод			
9.Фоторезистор		нет	
10. Фототеристор		нет	
11.Тиристор диодный. Динистор			
12.Тиристор триодный с управлением по катоду			
13.Тиристор триодный с управлением по аноду			
14.Тиристор двунаправленный			

15.Оптрон диодный		нет	
16.Оптрон тиристорный		нет	
17.Оптрон резисторный		нет	
18.Оптрон транзисторный		нет	
19.Транзистор типа PNP			
20.Транзистор типа NPN			
21.Транзистор полевой с р- каналом			
22.Транзистор полевой с изолированным затвором и р- каналом		нет	
23.Транзистор полевой с изолированным затвором и п- каналом		нет	

24.Диодный мост однофазный			
25.Диодный мост трехфазный			
26.Датчик Холла		нет	

Полупроводниковые приборы. Благодаря скоплению в пространстве электрических зарядов разных знаков в месте соприкосновения двух полупроводников возникает электрическое поле. Это поле препятствует дальнейшему переходу основных носителей электричества из одного полупроводника в другой. Если полупроводник типа **p** соединить с отрицательным выводом источника питания, а положительный - с полупроводником типа **n**, то электроны, находящиеся в большом количестве, устремляются к положительному полюсу, а дырки - к отрицательному (рисунок 1.20).

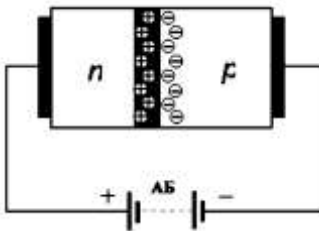


Рисунок 1.20. – Включение p-n перехода в обратном направлении

По мере протекания тока полупроводники заряжаются до напряжения питания и ведут себя аналогично заряженному конденсатору.

В таких условиях число основных носителей электричества, которые могут преодолеть увеличенный потенциальный барьер, будет невелико, который называется обратным током диода.

При внешнем напряжении 0,5 ... 1,0 В и полярности приложенного напряжения, показанной на рисунке, силы электрического поля оказываются настолько большими, что будут помогать основным носителям электричества преодолевать потенциальный барьер (рисунок 1.21).

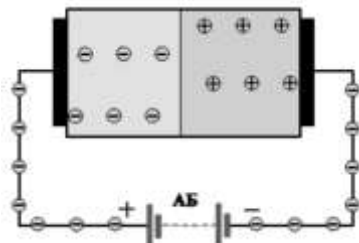


Рисунок 1.21. – Включение p-n перехода в прямом направлении

Таким образом система из двух полупроводников с проводимостью разного типа имеет способность пропускать ток в одном направлении и препятствовать его прохождению в другом. На основе устройств с **p-n** переходами созданы различные полупроводниковые приборы - диоды, транзисторы, тиристоры, динисторы, симисторы, стабилитроны, варисторы и т.д.

Силовые диоды способны выдерживать высокое (до 4000 В) обратное (прикладываемое в непроводящем направлении) напряжение при незначительном (не более 5 мА) токах утечки. У силового диода гибкий вывод является одним из электродов, на который насажен стандартный наконечник для подключения. **Положительный** электрод называется **анодом**, а **отрицательный** – **катодом**. **Направление тока** указывают значком на корпусе диода. Охладители имеют массивное основание и ребра, увеличивающие площадь поверхности охлаждения.

Вольтамперная характеристика диода. Наиболее полное представление о работе полупроводниковых диодов при стационарном режиме дает вольтамперная характеристика, т.е. графическая зависимость тока, проходящего через диод, от приложенного к нему напряжения (рисунок 1.22).

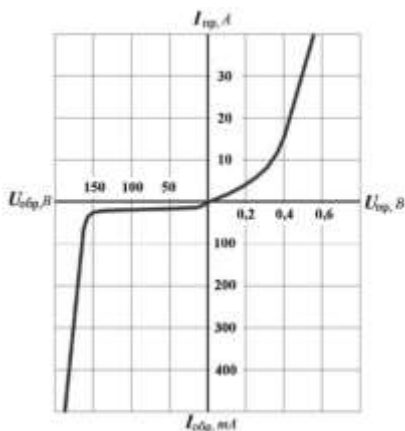


Рисунок 1.22. – Вольтамперная характеристика диода

Вид вольтамперной характеристики определяется в основном свойствами электронно-дырочного перехода. При включении диода **в прямом направлении** вольтамперная характеристика имеет круто восходящий участок. При изменении тока, проходящего через диод, падение напряжения на нем изменяется мало и находится в пределах 0,3... 3,0 В.

При **обратном включении** диода, т.е. в непроводящем направлении через него протекает малый обратный ток. Этот ток мало изменяется при возрастании обратного напряжения. Однако при достижении обратным напряжением некоторого максимального значения обратный ток резко возрастает. В этом случае происходит электрический **пробой диода**.

Вольтамперная характеристика диода может быть использована для определения его основных параметров. По прямой ветви можно определить падение напряжения на диоде при номинальном токе, а по обратной - максимально допустимое обратное напряжение и обратный ток при этом напряжении.

Предельный ток. Предельным током называется ток, который может быть **длительно** пропущен через диод **без превышения предельно допустимой температуры** его структуры (для кремниевых

диодов 140 С). Отечественная промышленность выпускает диоды на токи от нескольких миллиампер до нескольких тысяч ампер. Для силовых диодов предельный ток записывают в маркировке, например, ВЛ200 или ВЛ2000. Для отвода тепла силовые диоды снабжают охладителями с естественным или принудительным охлаждением. **Перегрузочная способность.** Нагрев полупроводниковой структуры диода при прохождении тока определяется потерями мощности и начальной температуре диода. При кратковременных перегрузках выделяющееся тепло сравнительно быстро распространяется по массе полупроводника, и температура его не успевает значительно возрасти. Следовательно, чем выше ток перегрузки, тем меньше время он должен проходить через диод. Например, для диодов ВЛ200 можно допустить перегрузку по току на 25% в течение 30 с, 50% - 1 с.

Перегрузочная способность диодов в аварийном режиме характеризуется одиночным допустимым значением импульса ударного тока синусоидальной формы продолжительностью 10 мс. После прохождения такого импульса обратное напряжение к диоду не должно прикладываться. Для диода ВЛ200, например, допускается перегрузка одиночным импульсом 4000 А.

Для предохранения структуры диода от недопустимого перегрева при кратковременных перегрузках, необходимо, чтобы охладитель обладал развитой охлаждающей поверхностью, хорошей теплопроводностью и достаточно большой теплоемкостью.

Обратное напряжение. Напряжение, прикладываемое к диоду в обратном направлении не должно превосходить некоторого максимального значения, при котором происходит пробой электронно-дырочного перехода. Различают четыре разновидности пробоя: зенеровский, лавинный, тепловой и поверхностный.

Зенеровский пробой возникает при высоких значениях напряженности электрического поля в электронно-дырочном переходе. Под действием сильного электрического поля электроны полупроводника могут вырываться из своих связей. Этот процесс аналогичен холодной эмиссии электронов из металла под действием сильного электрического поля.

Лавинный пробой. Данный пробой возникает при значительно меньших напряженностях электрического поля в переходе и является следствием ударной ионизации атомов полупроводника. В результате ударной ионизации появляются новые свободные электроны и дырки, которые в свою очередь разгоняются полем и создают возрастающее число электронов и дырок. Этот процесс носит лавинообразный характер

и приводит к значительному возрастанию обратного тока диода. После снятия обратного напряжения структура диода восстанавливается.

Тепловой пробой возникает при значительно более низких обратных напряжениях, когда не обеспечивается необходимый отвод тепла от диода. В этом случае переход может нагреваться до такой температуры, при которой возможен разрыв связей атомов кристаллической решетки. После снятия напряжения структура диода не восстанавливается.

Поверхностный пробой является следствием неудовлетворительного состояния поверхности диода.

В реальных условиях пробой возникает в результате одновременного действия нескольких факторов.

Максимальный обратный ток. Амплитудным значением обратного тока называют ток, протекающий через диод в обратном направлении при приложении к нему повторяющегося напряжения. Этот ток зависит от **класса диода**. Класс диода вводится в обозначение диода в сотнях вольт, например, 1, 2, 3, ... , 50.

Прямое падение напряжения. За номинальное значение падения напряжения принимают амплитуду напряжения на диоде при прохождении амплитудного значения предельного тока. Для силовых кремниевых диодов это напряжение не превышает 1,35 ... 2,20 В. Эта характеристика входит в обозначение диода. При замене поврежденного диода обязательно устанавливают диод той же группы.

Прямое и обратное сопротивление. Полупроводниковый диод представляет собой нелинейное сопротивление, которое зависит от приложенного напряжения и проходящего тока. Поэтому различают статическое и динамическое сопротивление. Статическое сопротивление характеризует сопротивление диода постоянному току, а динамическое - малым приращениям переменного тока.

Для диодов, работающих в импульсном режиме, в паспортных характеристиках указывают также прямое импульсное сопротивление - отношение максимального прямого напряжения к импульсному току.

Частотные характеристики. Эффективность работы полупроводниковых приборов в цепях переменного тока зависит от емкости **p-n** перехода, которая зависит от его площади. При работе на высоких частотах емкость **p-n** перехода может оказывать значительное влияние на работу диода, т.к. он теряет одностороннюю проводимость. В паспортных характеристиках на выпрямительные диоды обычно указывают наивысшую рабочую частоту, при которой может работать диод.

Стабилитроны. По принципу работы и своей вольтамперной характеристике стабилитроны аналогичны лавинным диодам. Они

представляют кремниевые диоды, выполненные таким образом, что при некотором обратном напряжении наступает лавинный пробой **p-n** перехода. В этом режиме диод пропускает относительно большой обратный ток, а падение напряжения на диоде остается практически постоянным. Таким образом, обратный участок воль-амперной характеристики может быть использован для стабилизации напряжения.

Двухсторонние стабилитроны можно представить в виде встречно включенных простых стабилитронов. Вольтамперная характеристика двухстороннего стабилитрона представляет сочетание двух обратных ветвей встречно включенных стабилитронов и симметрична относительно начала координат.

Тиристоры широко применяются на подвижном составе. Промышленность выпускает тиристоры различных типов на токи от 0,1 до 3000 А.

Диодные тиристоры представляют собой четырехслойный полупроводниковый прибор, образованный тремя **p-n** переходами. Поскольку каждый переход обладает вентильными свойствами, электрическую схему тиристора можно представить в виде трех последовательно включенных диодов (рисунок 1.23).

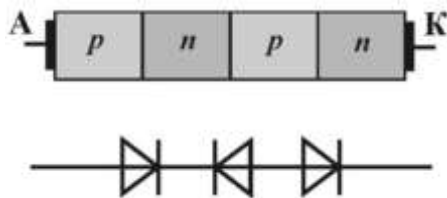


Рисунок 1.23. – Принципиальная и эквивалентная схема тиристора

Когда к тиристор при отсутствии управления приложено напряжение в прямом направлении первый и третий переходы открыты, но тиристор заперт вторым переходом, который включен в непроводящем направлении. Через тиристор проходит малый ток утечки. С увеличением приложенного напряжения ток утечки практически остается на прежнем уровне. Тиристор замкнут. Дальнейшее увеличение прямого напряжения вызывает резкое увеличение количества свободных электронов и дырок и проникновения их через потенциальный барьер. Происходит лавинный пробой и полное открытие тиристора. Вольтамперная характеристика диодного тиристора приведена на рисунок 1.24.

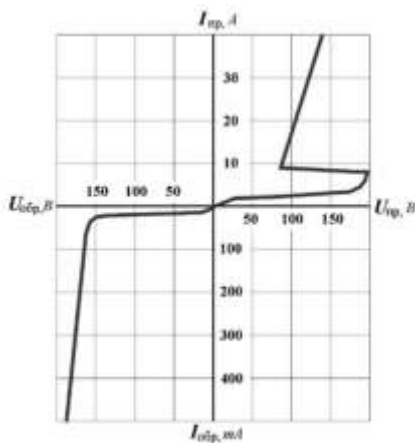


Рисунок 1.24. – Вольтамперная характеристика диодного тиристора

Характерной особенностью тиристорov является то, что напряжение включения можно значительно снизить. Для этого применяют триодные тиристоры, которые имеют дополнительный **управляющий электрод**. Если на управляющий подать **положительный потенциал** от вспомогательного источника напряжения, то будет проходить **ток управления**, который будет способствовать увеличению количества основных носителей и в конечном итоге лавинному пробую запирающего перехода и открытию тиристора.

После того как тиристор откроется он **продолжает работать независимо** от того, поступает или нет сигнал на его управляющий электрод. Закрыть его можно только уменьшив до нуля прямой ток или приложив к нему обратное напряжение.

Для тиристорov, так же, как и для диодov, основными параметрами являются:

- предельный прямой ток;
- перегрузочная способность;
- прямое падение напряжения;
- максимальное прямое и обратное напряжение;

- сопротивление в прямом и обратном направлении;
- температурный режим.

Кроме того, для тиристорov существует ряд специфических параметров.

Напряжение включения в тиристорах приблизительно равно максимальному обратному напряжению, при котором происходит самопроизвольное включение тиристора.

Ток включения - это минимальное значения **тока управления**, при котором происходит открытие тиристора.

Ток удержания - минимальное значение **прямого тока**, при котором тиристор остается во включенном состоянии.

Время включения и выключения - определяет частотные свойства тиристора и характеризует промежутков времени от момента изменения состояния тиристора до момента времени когда тиристор будет подготовлен к повторному циклу работы.

Оптотиристоры. Основу таких тиристорov составляет оптоэлектронная пара, состоящая из четырехслойной кремниевой структуры и излучающего диода. Поскольку цепи излучающего диода электрически изолированы от кремниевой структуры и управление происходит только за счет энергии светового луча светодиода, то такой прибор обеспечивает электрическую изоляцию силовых цепей от цепей управления, что упрощает системы управления.

Транзисторы представляют собой полупроводниковый прибор с двумя **p-n** переходами. По характеру своей работы он аналогичен переменному сопротивлению, управляемому величиной тока базы.

Основой любого транзистора является пластинка полупроводникового материала, состоящая из трех областей. Две крайние области обладают проводимостью одного типа, а средняя - противоположной.

Транзистор **p-n-p** имеет два **p-n** разделяющих прибор на три области. Левая часть называется **эмиттером**, он вырабатывает основные носители, средний слой называется **базой**, а правая часть - **коллектором**. Когда транзистор не подключен к внешним источникам напряжения, то в его **p-n** переходах создаются потенциальные барьеры.

Если подать на эмиттер положительный, на коллектор отрицательный потенциал от источника напряжения, а от другого источника подать на базу относительно эмиттера отрицательный потенциал относительно эмиттера - транзистор откроется и начнет проводить ток (рисунок 1.25).

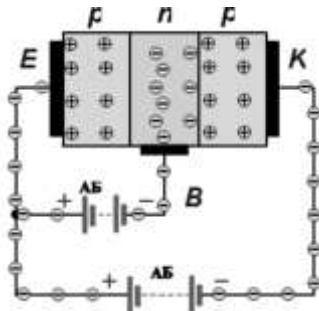


Рисунок 1.25. – Принцип работы транзистора типа p-n-p

При включении напряжения управления происходит как бы впрыск электронов в область базы, которые ослабляют величину потенциального барьера между базой и коллектором. Таким образом **величина тока базы определяет величину тока эмиттер-коллектор**.

В транзисторах типа **p-n-p** механизм управления током коллектора остается тем же, что в предыдущем случае. Только основными носителями тока базы будут дырки. Полярность подключения источников напряжения будет противоположной по сравнению с полярностью транзистора типа **p-n-p** (рисунок 1.26).

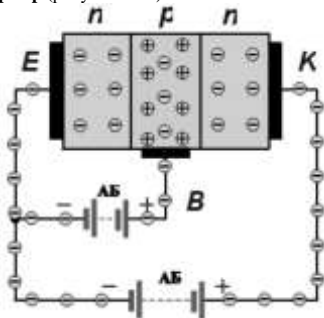


Рисунок 1.26. – Принцип работы транзистора типа n-p-n

Основные параметры транзисторов.

Коэффициент передачи тока эмиттера характеризует усилительные свойства транзистора. Чем ближе этот коэффициент к единице, тем больше усиление напряжения и мощности может обеспечить транзистор.

Допустимая мощность рассеяния коллектора определяет нагрузочную способность транзистора. Характеристика предельной мощности ограничивает рабочий режим транзистора. Если транзистор работает в ключевом режиме (когда он находится попеременно во включенном и выключенном состоянии), то кратковременно можно транзистор нагружать мощностью, превышающей допустимую.

Максимально допустимое напряжение между коллектором и эмиттером определяет работоспособность транзистора. При превышении этого параметра наступает пробой коллекторного перехода из-за недопустимого перегрева полупроводниковой структуры.

Обратный ток коллектора представляет собой ток, проходящий через транзистор, при токе эмиттера, равном нулю. Он определяется неосновными носителями, имеющимися в коллекторе и базе. Чем ниже значение этого параметра, тем выше качество транзистора и эффективность усиления сигналов.

Рабочая частота оказывает существенное влияние на параметры работы транзистора. При увеличении частоты уменьшается коэффициент усиления и появляется сдвиг по фазе между входными и выходными сигналами из-за вредного влияния емкости **p-n** переходов.

Рабочая температура определяет условия, при которых может работать транзистор. Так как транзисторы чувствительны к перегревам, то необходимо принимать особые меры предосторожности при их монтаже и эксплуатации. Температурный режим работы устанавливается условиями окружающей среды, при которых должен безотказно работать транзистор.

Оптотранзисторы. Основу таких тиристоров составляет оптоэлектронная пара, состоящая из фототранзистора и излучающего диода. Поскольку цепи излучающего диода электрически изолированы от фототранзистора и управление происходит только за счет энергии светового луча светодиода, то такой прибор обеспечивает электрическую изоляцию силовых цепей от цепей управления, что упрощает системы управления.

1.7. Обозначения электрических машин

При изучении электрических схем локомотивов и электропоездов предполагается, что **схемы внутренних соединений различных электрических машин читателю знакомы**, поэтому они и обозначены символами, не отражающими внутренних соединений.

Машины, применяемые на локомотивах и электропоездах, **имеют ряд особенностей**, обусловленных стесненными габаритами, способами соединения машин с приводными двигателями или колесными парами, работой в условиях значительных вибраций, резких колебаний температуры, большой влажности. Все это в известной мере отражается на электрических схемах соединения их обмоток. У многих машин эти схемы достаточно сложны, а уяснение их важно для понимания как принципа работы машин, так и локомотива в целом.

Для целей тяги применяют генераторы и электродвигатели постоянного и переменного тока с различными системами возбуждения. Электрические двигатели необходимы также для приведения во вращение неэлектрических машин и устройств, например, компрессоров, вентиляторов, насосов и др. Эти электрические машины называют **вспомогательными**.

Большинство машин подвижного состава имеет **специальное тяговое исполнение**, однако иногда, например, в качестве приводящих двигателей машин электровозов переменного тока используют обычные трехфазные двигатели единой серии. **Некоторые машины имеют особое исполнение**, например, двухколлекторные делители напряжения на электропоездах, расщепители фаз на электровозах и электропоездах переменного тока, возбудители на тепловозах и другие.

Тяговые двигатели локомотивов и электропоездов, а также многие вспомогательные, например, электродвигатели компрессоров и вентиляторов являются машинами последовательного возбуждения.

Тяговые генераторы тепловозов, а также тяговые двигатели при работе в режиме электрического торможения имеют независимое возбуждение. У некоторых машин, например, двигателей топливных и масляных насосов, привода главного контроллера, тахометрического агрегата и других, возбуждение смешанное: имеются, обмотки параллельного (или независимого) и последовательного возбуждения.






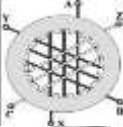









Возбудители на тепловозах из-за предъявляемых к ним особых требований имеют систему возбуждения, состоящую из нескольких обмоток специального назначения, и специальную систему полюсов.

Обмотки возбуждения обозначают на схемах так, как показано в таблице. Агрегат вспомогательного генератора и возбудителя,


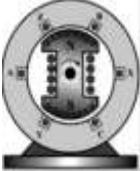



приводящийся в движение от вала дизеля через специальный, редуктор, называют двухмашинным агрегатом. На схемах электрических цепей этих машин их конструктивные особенности не отражены.

Условные графические обозначения электрических машин приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Условные графические обозначения электрических машин [5]

Наименование обозначения	ГОСТ 2.722-68	ГОСТ 7624-62	Примечание
1.Обмотка независимого или шунтовая обмотка возбуждения			
2.Обмотка статора (каждой фазы)			
3.Компенсационная обмотка			
4.Обмотка добавочных полюсов			
5.Статор с трехфазной обмоткой, соединенной в треугольник			

Наименование обозначения	ГОСТ 2.722-68	ГОСТ 7624-62	Примечание
6. Статор с трехфазной обмоткой, соединенной в звезду			
7. Ротор с обмоткой, коллектором и щетками			
8. Ротор с щетками на контактных кольцах		нет	
9. Короткозамкнутый ротор			
10. Роторс однофазной обмоткой или обмоткой постоянного тока		нет	
11. Ротор внешний с короткозамкнутой обмоткой		нет	
12. Ротор явнополюсный с сосредоточенной обмоткой возбуждения и успокоительной обмоткой		нет	

Наименование обозначения	ГОСТ 2.722-68	ГОСТ 7624-62	Примечание
13. Генератор с трехфазной обмоткой статора, соединенный в звезду, и явнополюсным ротором и успокоительной обмоткой		нет	
14. Электродвигатель с трехфазной обмоткой статора, соединенной в треугольник, и короткозамкнутым ротором			

Примечание. Внутри окружности, изображающей ротор, допускается указывать следующие данные: **G** - генератор; **M** - двигатель; **GS** - генератор синхронный; **MS** - двигатель синхронный; **C** - преобразователь; **MG** - машина, которая может работать как генератор и как двигатель.

Тяговые генераторы являются источниками напряжения для питания тяговых электродвигателей и цепей вспомогательных нужд тепловозов.

На рисунок 1.27 приведена электрическая схема соединений обмоток тягового генератора **ГПЗ11Б** тепловоза **2ТЭ10**. На этой и ей подобных схемах окружностью (могут быть применены и другие контуры очертания) изображена станина (остов) машины. Часто для упрощения чертежа очертания станины не показывают. Прямоугольниками обозначены сердечники главных (широкие прямоугольники) и дополнительных (узкие) полюсов. Внутри прямоугольников показаны выводы обмоток полюсов. Надписи около главных полюсов Открытая или Перекрешенная характеризуют положение выводов обмотки катушек. Катушки с прямыми выводами обозначены надписью Открытая, катушки с перекрешенными выводами - Перекрешенная. Такое исполнение выводов принято для облегчения соединения полюсов при соблюдении необходимого чередования их полярности. Наличие на полюсе четырех выводов означает, что на нем размещены две

самостоятельные обмотки, например, обмотка независимого возбуждения и пусковая.

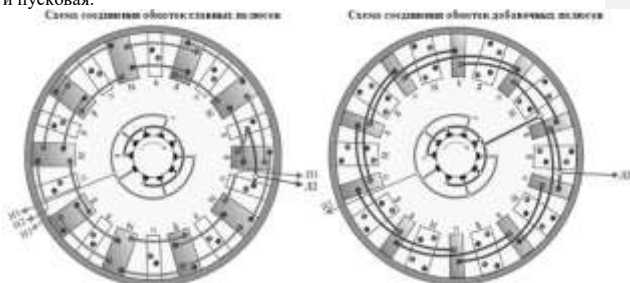


Рисунок 1.27 – Полная схема соединения обмоток полюсов тягового генератора ГП311Б

Коллектор показан окружностью с расположенными на ней щетками. Однополярные щетки соединены шинами. Стрелками указано направление вращения. Обычно схему соединения обмоток показывают со стороны коллектора, но если соединения отдельных обмоток, например, главных полюсов двигателей, выполнены с противоположной стороны, то изображают и другой вид с указанными соединениями.

При большом количестве полюсов или обмоток трудно проследить все цепи машины на полной схеме и тогда полезно рассмотреть отдельно схему соединения обмоток (см. рисунок 1.28).

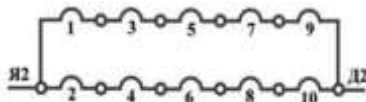


Рисунок 1.28 – Схема соединения обмоток добавочных полюсов

При условном обозначении генератора **ГП311Б** все однополярные щетки для простоты заменены одной, а обмотки показаны отдельно. Генератор имеет три обмотки возбуждения: независимого возбуждения **Н1-Н2** (на главных полюсах), пусковую **П1-Д2** (на главных полюсах) и дополнительных полюсов **Я2-Д2** (на добавочных полюсах) (рисунок 1.29). Первые две обмотки состоят из двенадцати последовательно соединенных катушек каждая, восемь катушек обмотки дополнительных

полосов соединены в две параллельные цепи по четыре катушки. Каждая параллельная цепь на схеме показана в виде условного обозначения одной обмотки.

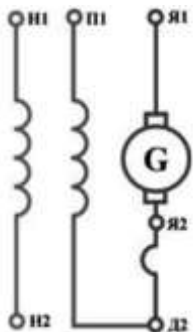


Рисунок 1.29 – Условное изображение генератора ГПЗ11Б

Пусковая обмотка последовательно соединенная с обмоткой якоря, во время пуска дизеля контакторами Д1 и Д2 кратковременно подключается к аккумуляторной батарее, при этом контакторы цепей тяговых двигателей П1 . . . П6 разомкнуты, и запуск генератора происходит без нагрузки. После окончания запуска дизеля пусковая обмотка отключается (размыканием пусковых контакторов Д1 и Д2), а контакторы тяговых двигателей подключают их к генератору.

Синхронные тяговые генераторы ГС501А тепловозов 2ТЭ116 и ТЭП70 представляет собой электрическую машину с явно выраженными 12 полюсами, расположенными на роторе с независимым возбуждением и принудительной вентиляцией (рисунок 1.30).

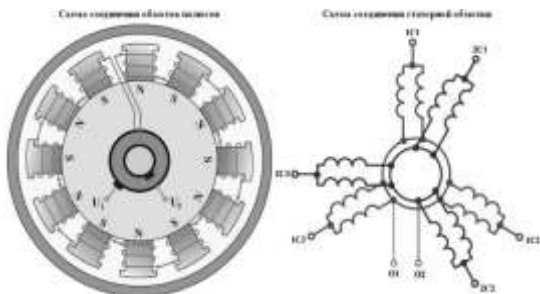


Рисунок 1.30 – Полная схема соединения обмоток генератора ГС501А

Статор состоит из **корпуса, сердечника и обмотки**. **Корпус** статора сварен из стальных листов. **Сердечник** статора набран из штампованных сегментов электротехнической стали толщиной **0,5 мм**, которые стягиваются при помощи шпилек и нажимных шайб. **Обмотка** статора двухслойная, волновая изготовлена из стержней медного проводника прямоугольного сечения.

Ротор состоит из **вала, корпуса, сердечника, полюсов и контактных колец**. **Корпус** ротора сварной. С одного конца цилиндрическая часть **корпуса** имеет стальную втулку, на которую монтируются контактные кольца и запрессовывается **вал**. **Контактные кольца** изготовлены из специальной антикоррозионной стали и напрессовываются на корпус ротора в горячем состоянии и изолированы от него. С противоположной стороны корпус ротора имеет фланец для крепления с коленчатым валом дизеля. На корпус ротора напрессован сердечник, состоящий из пакета стальных листов толщиной **2 мм**. В листах выштампованы пазы в форме "ласточкина хвоста", в которых крепят клиньями полюсы. **Полюс** состоит из сердечника и обмотки. Сердечник полюса набран из листов стали толщиной **1,4 мм**, спрессован и стянут четырьмя шпильками. **Катушки полюсов** ротора выполнены из медной ленты, гнутой на ребро. Все выводы полюсов с помощью контактных сегментов и болтов соединены последовательно.

Тяговые электродвигатели на локомотивах и электропоездах применяют только постоянного (или пульсирующего) тока. Они имеют последовательное возбуждение.

По эквивалентной схеме проследим последовательность соединения обмоток главных и добавочных полюсов двигателя ЭД118А (рисунок 1.31).

Тяговый двигатель последовательного возбуждения имеет четыре главных и четыре добавочных полюса. Обмотки на главных и добавочных полюсах соединены последовательно соответственно. Обмотки якоря и добавочных полюсов соединены последовательно внутри двигателя, и это соединение особых выводов не имеет. Выводы **Я1** и **Я2** объединяют не только обмотку якоря, но и обмотку добавочных полюсов. Обмотка главных полюсов имеет самостоятельные выводы **С1** (начало) и **С2** (конец), которыми она включается в схему локомотива. **Начало обмотки схематично приведено ближе к якорю машины, конец – к корпусу.** Иногда началу обмотки соответствует буква **Н**, а концу - **К**.

Добавлено примечание ([12]):

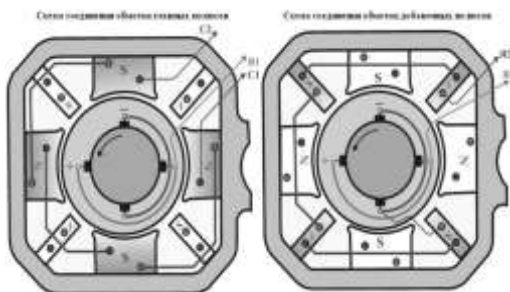


Рисунок 1.31 – Полная схема соединения обмоток полюсов тягового электродвигателя ЭД118А

Четырехполюсные тяговые двигатели электровозов и электропоездов имеют аналогичные схемы, но в них, как правило, все катушки главных полюсов и все катушки добавочных полюсов соединены последовательно.

Схема соединений обмоток тягового двигателя **НБ-418Б** (рисунок 1.32 и рисунок 1.33) применяется сейчас повсеместно для электрических машин электроподвижного состава. Из схемы мы легко устанавливаем, что тяговый двигатель является шестиполосным, имеет по три однополярные щетки, обмотки якоря и дополнительных полюсов соединены на стороне коллектора, а обмотки главных полюсов - с противоположной стороны. Выводы обмотки якоря (**Я**, **ЯЯ**) выполнены со стороны коллектора, а выводы обмотки главных полюсов (**К**, **КК**) - с противоположной стороны.

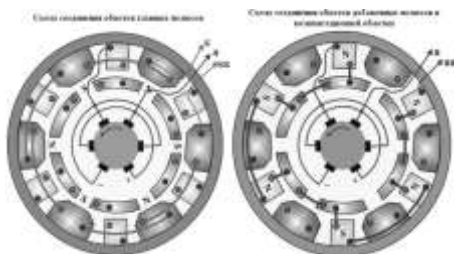


Рисунок 1.32 – Схема соединения обмоток тягового электродвигателя НБ-418Б

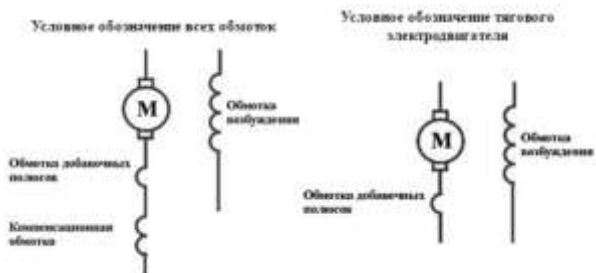


Рисунок 1.33 – Условные обозначения тягового электродвигателя НБ-418Б

Вспомогательные электрические машины. Схемы вспомогательных машин локомотивов и электропоездов весьма разнообразны и в значительной степени определяются назначением и типом машин, родом тока, величиной напряжения и требованиями, вытекающими из условий их работы.

Применяют следующие вспомогательные машины: приводные электродвигатели для механизмов и устройств, например, компрессоров, вентиляторов, насосов, генераторов; генераторы управления, вспомогательные генераторы, питающие цепи управления, возбудители для рекуперативных электровозов и главных генераторов тепловозов (рисунок 1.34 и рисунок 1.35).

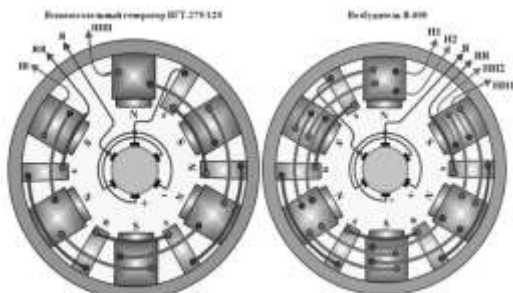


Рисунок 1.34 – Схема соединения обмоток двухмашинного агрегата А-706Б

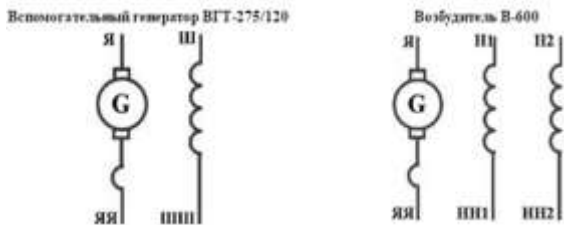


Рисунок 1.35 – Условное обозначение обмоток двухмашинного агрегата А-706Б

Преобразователи числа (расщепители) фаз на электровозах и электропоездах переменного тока представляют собой электрические машины специального исполнения и служат для преобразования однофазного тока в трехфазный, который потребляют приводные двигатели вспомогательных механизмов (рисунок 1.36).

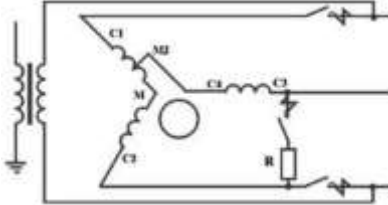


Рисунок 1.36 – Схема соединения обмоток расщепителя фаз

Преобразователи напряжения (делители напряжения) постоянного тока - специальные генераторы на электровозах постоянного тока вспомогательные машины рассчитаны на работу при полном напряжении (**3300 В**) контактной сети. Делитель напряжения представляет собой двухколлекторную электрическую машину со смешанным возбуждением, имеющую две отдельные якорные обмотки, уложенные в общие пазы якоря, и общую магнитную систему (рисунок 1.37).

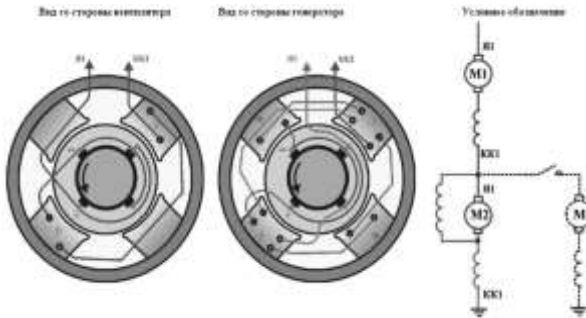


Рисунок 1.37 – Полная схема соединения обмоток делителя напряжения

Электродвигатели постоянного тока компрессоров обычно имеют последовательное возбуждение. Так, из схемы видно, что все катушки дополнительных полюсов соединены последовательно, катушки последовательного возбуждения главных полюсов также соединены последовательно, а катушки параллельного возбуждения включены

параллельно обмотке якоря и обмотке последовательного возбуждения. Обе обмотки (дополнительных и главных полюсов) соединены последовательно и подключены к минусовым щеткам коллектора. Не обозначают и выводной конец обмотки якоря (от минусовых щеток), так как он внутри машины присоединен к обмотке дополнительных полюсов (рисунок 1.38).

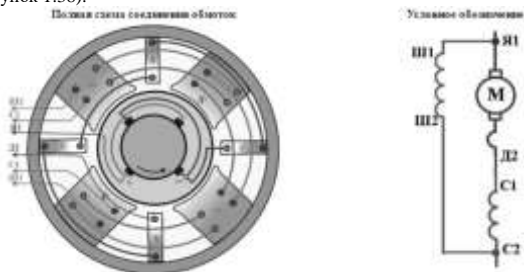


Рисунок 1.38 – Схема соединения обмоток электродвигателя серии П

В качестве приводов вентиляторов, и насосов на отечественных тепловозах, электровозах и электропоездах переменного тока обычно применяют трехфазные асинхронные двигатели общего назначения (рисунок 1.39). Эти двигатели на электровозах питаются трехфазным переменным током от специального преобразователя - расщепителя фаз, а на тепловозах - от тягового генератора или генератора собственных нужд. Как видим из схемы, обмотки статора соединены в звезду.

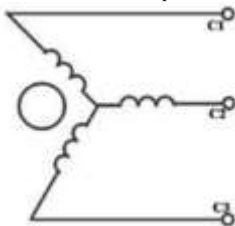


Рисунок 1.39 – Условное обозначение асинхронного электродвигателя

1.8 Разновидности электрических контактов

Электрическим контактом называют место перехода тока из одной токоведущей детали в другую. Контакты можно разделить на три группы: разборные, коммутирующие и скользящие [4].

Разборные контакты - это те, у которых в процессе работы детали не перемещаются относительно друг друга. Например, болтовое соединение токоведущих шин, присоединение проводников к колодкам зажимов и т. п. На тепловозах контакты этого типа применяются для соединения как силовых электрических машин и аппаратов, так аппаратов низковольтных цепей управления и защиты.

Коммутирующие контакты - это те, которые в процессе работы замыкают, размыкают или переключают цепь, в которой течет или может протекать ток. Например, контакты выключателей, контакторов, рубильников, реле и т. п.

Скользящие контакты - разновидность коммутирующих контактов, у которых одна из деталей перемещается (скользит) относительно другой, но электрический контакт при этом не нарушается. Например, контакты реостатов, щеточный контакт электрических машин, шарнирный контакт.

По форме контактных поверхностей различают три типа контактов: точечный, линейный и поверхностный (рисунок 1.40).

Точечный - соприкосновение контактных поверхностей происходит только в одной площадке малого радиуса - точке (см. рисунок 1.40, *a*). Точечный контакт возникает при соприкосновении сферы со сферой, сферы с плоскостью. Такие контакты обычно используются в слаботочных ЭА, например, в реле управления ТРПУ или в качестве вспомогательных контактов контакторов.



a) б) в) a - точечный; *б* - линейный; *в* - поверхностный

Рисунок 1.40 – Разновидности контактов по форме контактных поверхностей

Линейный - соприкосновение контактных поверхностей происходит по узкой полоске (см. рисунок 1.40, *б*). Такой контакт возникает при соприкосновении цилиндра с цилиндром (по образующей), цилиндра с плоскостью. Линейные контакты на тепловозных ЭА используются для коммутации больших токов в поездных контакторах, реверсоре,

контакторах вспомогательных электродвигателей и т. п.

Поверхностный - условное соприкосновение двух контактов происходит по поверхности, а физическое - в ряде площадок (минимум три), расположенных на этой поверхности (см. рисунок 1.40, *в*). Эти контакты преимущественно используются для разборных контактных соединений.

По конструктивному исполнению контакты могут быть подразделены на рычажные, мостиковые и врубные.

Рычажные контакты применяются в аппаратах с поворотной подвижной системой, например, в поездных контакторах ПК-753Б6, контакторах типа КПВ-604 и т. п. Работа такого механизма подробно рассмотрена в [5], поэтому в данном пособии обратим внимание только на процесс притирки.

Притирка - это скольжение и перекатывание подвижного контакта по неподвижному, которое обеспечивается поворотом притирающего рычага относительно рычага механического привода.

Рассмотрим процесс притирки на примере силовых контактов поездного контактора, показанных на рисунке 1.41. Под воздействием пневматического привода рычаг 5 поворачивается против часовой стрелки вокруг оси 4. Касание контактов 1 и 2 происходит в точке 8, при этом рычаг 5 еще не достиг своего конечного положения и продолжает поворачиваться. В результате вокруг оси 3 начинает поворачиваться притирающий рычаг 7 и сжиматься притирающая пружина 6. Вследствие этого происходит перекатывание и проскальзывание подвижного контакта 2 по неподвижному 1, в результате начальная точка касания 8 при замыкании оказывается смещённой по отношению к точке 9 конечного соприкосновения контактов при полностью включенном контакте.



а - начало притирки; *б* - конец притирки (контактор полностью включен); 1 - неподвижный контакт; 2 - подвижный контакт; 3 - ось вращения притирающего рычага; 4 - ось вращения рычага механического привода; 5 - рычаг механического привода; 6 - притирающая пружина; 7 - притирающий рычаг; 8 - точка первоначального соприкосновения контактов; 9 - точка соприкосновения контактов при полностью включенном контакторе

Рисунок 1.41 - Притирка контактов поездного контактора

При отключении контактора описанный процесс происходит в обратном порядке, в результате электрическая дуга возникает в точке 8, которая достаточно удалена от точки 9, то есть рабочая контактная поверхность не подвергается дуговому износу. Проскальзывание контактов при достаточном контактном нажатии приводит к стиранию окисной пленки и грязи с поверхности контакта, т. е. к самоочистке контактов, и это позволяет применять медь в качестве контактного материала.

Проскальзывание при той шероховатости, которую обычно имеют поверхности контактов (в особенности работавших), вызывает их повышенный износ. Ввиду этого появилась тенденция исключать или сводить к минимуму проскальзывание, сохраняя перекатывание контактов. Рабочие поверхности рычажных контактов выполняются главным образом в виде сопряжения плоскость-цилиндр или как у поездных контакторов - цилиндр-цилиндр.

Рычажные контакты требуют гибкой связи для присоединения к токоподводу, которая в ряде случаев является слабым местом контактной системы. Гибкая связь, рассчитанная на большие токи, не обладает достаточной механической износостойкостью и ее срок безотказной работы оказывается меньше, чем других деталей аппарата. Этого недостатка лишены мостиковые контакты.

Мостиковые контакты (рисунок 1.42) на тепловозных ЭА применяются как в аппаратах с прямоходовой подвижной системой (групповые контакторы ослабления поля ТЭД), так и с поворотной (контакторы МК, реле времени РЭВ-812, РЭВ-813). Достоинство конструкции - отсутствие гибкой электропроводной связи, недостаток - требуется удвоенное контактное нажатие по сравнению с рычажными контактами, так как число контактных площадок удваивается. Конструкция мостиковых контактов не предусматривает перекатывание и проскальзывание, поэтому медные контакты здесь применяться не могут, а используются контакты из серебра или металлокерамики на базе серебра. Форма контактных поверхностей: плоскость-плоскость, плоскость-цилиндр, цилиндр-цилиндр, плоскость-сфера, сфера-сфера (при малых токах).

Врубные контакты на тепловозах используются в рубильнике аккумуляторной батареи и для подсоединения плавких предохранителей. Одна из возможных конструкций контакта, состоящего из неподвижной контактной стойки 1, в которую входит подвижный контактный нож 2, показана на рисунке 1.43. Нажатие осуществляется за счет упругих свойств материала стоек (твердотянутая медь или фосфористая бронза), которым придается соответствующая форма. Для получения большего

усилия нажатия применяют стальные пружины 3. Врубные контакты не предназначены для частых оперативных переключений, так как при частых включениях, а также при перегреве упругие свойства стоек ослабевают и контакт выходит из строя. Соприкосновение контактов происходит по линии или цилиндрической поверхности .



a - выключенное состояние контактов; *б* - контакт полностью включен; 1 - неподвижные контакты; 2 - подвижные контакты; 3 - мостик; 4 - деталь механического привода

Рисунок 1.42 - Мостиковые контакты

К материалам контактов предъявляются противоречивые требования: высокая электрическая проводимость и теплопроводность, коррозионная стойкость и наличие токопроводной оксидной пленки, дугостойкость (высокая температура плавления и испарения), твердость, механическая прочность и способность к пластической деформации, невысокая стоимость. На тепловозных коммутационных аппаратах широко используют медные, серебряные и металлокерамические контакты.[6]

Медь удовлетворяет почти всем перечисленным выше требованиям, за исключением коррозионной стойкости. Оксиды меди имеют низкую проводимость. Медь - самый распространенный контактный материал, используется как для разборных, так и для коммутирующих контактов. В разборных соединениях необходимо применять антикоррозионные покрытия рабочих поверхностей. В коммутирующих контактах медь применяется при нажатиях свыше 3 Н для всех режимов работы, кроме продолжительного. Медь на тепловозных ЭА используется для дугогасительных контактов контакторов.

Серебро - контактный материал, удовлетворяющий всем требованиям, за исключением дугостойкости при значительных токах. При малых токах обладает хорошей износостойкостью. Оксиды серебра имеют почти такую же проводимость, как и чистое серебро. Серебряные контакты широко используются в тепловозных электромагнитных реле

управления. Серебро обычно применяется в виде накладок, вся деталь выполняется из меди или другого материала, а на рабочей поверхности контакта приваривается серебряная накладка.

Металлокерамика - механическая смесь двух практически не сплавляющихся металлов, получаемая методом спекания смеси их порошков или пропиткой одного расплавом другого. При этом один из металлов имеет хорошую проводимость, а другой обладает большой механической прочностью, является тугоплавким и дугостойким. Металлокерамика сочетает высокую дугостойкость с относительно хорошей проводимостью. Наиболее распространенными композициями металлокерамики являются: серебро-вольфрам, серебро-молибден, серебро-никель, серебро-окись кадмия, серебро-графит, серебро-графит-никель, медь-вольфрам, медь-молибден и др. Применяется металлокерамика в качестве дугогасительных контактов.

1.9 Условия работы контактов

При работе коммутирующих контактов происходит ряд специфических физических явлений, знание которых позволяет правильно проектировать и эксплуатировать коммутационные ЭА тепловозов. Основной характеристикой контактного соединения является его переходное сопротивление, которое зависит от ряда факторов.[8]

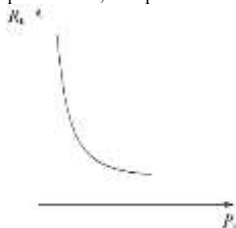


Рисунок 2.5 - Зависимость переходного сопротивления контакта от нажатия [4]

Переходным сопротивлением контакта называется электрическое сопротивление в зоне перехода тока из одного проводника в другой. По своей природе переходное сопротивление контакта есть обычное сопротивление металлического проводника. Только этот проводник -

микроскопический бугорок, в котором и происходит физическое контактирование двух проводников между собой. Переходное сопротивление контакта можно представить себе, как результат сужения сечения материала в элементарных бугорках и резкого повышения плотности тока в площадках контактирования по сравнению с плотностью тока в теле контакта. Переходное сопротивление зависит: от величины контактного нажатия, температуры, шероховатости поверхности, склонности материала контактов к окислению, площади условного соприкосновения контактов.

Зависимость переходного сопротивления от контактного нажатия показана на рисунке 2.5. Из рисунка видно, что увеличение контактного нажатия P более к некоторой величины не приводит к существенному уменьшению переходного сопротивления R_k контактов.

С ростом температуры переходное сопротивление вначале растет, затем при некоторой температуре (для меди и серебра при температуре от 200 до 300 °С) происходит резкое падение механических свойств материала. При том же нажатии увеличивается площадка контактирования, переходное сопротивление резко уменьшается. При дальнейшем росте температуры R_k снова возрастает линейно, и при температуре плавления материала контакты свариваются, переходное сопротивление опять резко падает [4].

Шлифовка поверхностей контактов не уменьшает, а наоборот, увеличивает переходное сопротивление по сравнению с обработкой напильником. При шлифовке бугорки на поверхности становятся более пологими и смятие их затрудняется [4].

Переходное сопротивление чрезвычайно чувствительно к окислению поверхности ввиду того, что оксиды многих металлов (в частности меди) являются плохими проводниками. У медных открытых контактов вследствие их окисления с течением времени переходное сопротивление может возрасти в тысячи раз. Поэтому для медных контактов необходимо применять меры борьбы с окислением их рабочих поверхностей.

Оксиды серебра имеют электрическую проводимость, близкую к проводимости чистого серебра. При повышенных температурах оксиды серебра разрушаются. Переходное сопротивление контактов из серебра, а также из серебросодержащей металлокерамики практически не изменяется с течением времени.

В разборных соединениях производят антикоррозионное покрытие рабочих поверхностей - серебрят, лудят, кадмируют, иногда никелируют или цинкуют. Применяют покрытие рабочих поверхностей нейтральной смазкой (например вазелином) после зачистки их напильником. После

сборки контактного соединения швы следует заделать (герметизировать) асфальтовым или эмалевым лаком .

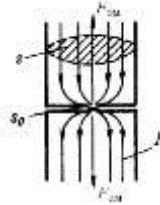
С увеличением площади рабочей поверхности контакта растет число точек соприкосновения и одновременно с этим уменьшается величина механического напряжения в каждой точке, что ведет к уменьшению смятия и росту переходного сопротивления в отдельных точках, которое практически компенсирует увеличение числа точек соприкосновения. Все же с увеличением номинального тока контактов надо увеличивать размеры деталей-контактов, так как с увеличением тока растет мощность тепловых потерь и для их рассеяния требуется большая внешняя поверхность.

В процессе работы коммутирующие контакты подвержены **электрическому и механическому износу**. Механический износ существенно меньше электрического и поэтому во внимание не принимается.

При размыкании сила, сжимающая контакты, снижается до нуля, резко возрастают переходное сопротивление контакта и плотность тока в последней площадке контактирования. Площадка сильно разогревается, и между расходящимися контактами образуется контактный перешеек из расплавленного металла, который в дальнейшем рвется. При этом в промежутке между контактами могут возникнуть различные формы электрического разряда. При токе и напряжении, больших минимально необходимых (например, для меди при токе более 0,5 А и напряжении свыше 15 В), возникнет дуговой разряд. Если ток меньше минимально необходимого, а напряжение выше напряжения зажигания дуги, то возникнет искровой разряд.

Эрозия контактов при малых токах обусловлена тем, что разрушение жидкого контактного перешейка происходит вследствие распыления и разрыва его, но не в середине, а ближе к одному из электродов. Чаще всего контактный перешеек разрывается у анода, вследствие чего износу подвергается только анод (можно считать, что сам перешеек состоит из металла анода и катода поровну).

Износ контактов при больших токах происходит как при размыкании контактов, так и при их замыкании. Износ контактов при размыкании в этом случае обусловлен возникновением электрической дуги между контактами, которая вызывает оплавление их поверхностей, унос и перенос металла контактов. Износ контактов зависит от температуры электрической дуги, продолжительности ее горения и траектории движения.



F^{TM} - электродинамическая сила; 5 - сечение контакта в том месте, где нет искривлений линий тока; 50 - действительная площадь контактирования; I - линии тока
Рисунок 1.44 –прохождение тока через контакт

Износ контактов при замыкании связан с **дребезгом**. При замыкании подвижный контакт подходит к неподвижному с определенной скоростью. При соударении происходит упругая деформация материала обоих контактов. Упругая деформация приводит к отбросу подвижного контакта - он отскакивает от неподвижного на некоторое расстояние, измеряемое сотыми и десятными долями миллиметра (иногда до 1 мм). Под действием притирающей пружины происходит повторное замыкание контактов. Этот процесс может повторяться несколько раз с затухающей амплитудой, его и называют дребезгом. При каждом отбросе между контактами возникает электрическая дуга, вызывающая их износ

В процессе прохождения тока через контакты возникает **электродинамическая сила**, стремящаяся разомкнуть контакты. Электродинамическая сила возникает в результате сужения линий тока при переходе тока из одного контакта в другой в контактных площадках малого сечения, как, например, показано на рисунке 1.44.

На рисунке хорошо видно, что в приповерхностной зоне контактов направление токов противоположно. То есть, как и в известном из курса физики опыте Андре Ампера, два проводника с различным направлением токов отталкиваются.

При коротких замыканиях возникают весьма тяжелые условия работы как для разборных, так и для коммутрующих контактов.

В разборных контактах слабым местом оказывается болтовое соединение. Болт, стягивающий детали, практически не проводит ток, и вследствие кратковременности процесса короткого замыкания можно считать, что температура болта не изменяется. Тепловое расширение токоведущих деталей вызовет дополнительное напряжение, которое, складываясь с напряжением затяжки болта, может привести к остаточным

деформациям и ослаблению контактного нажатия после его остывания. Из-за ослабления контактного нажатия увеличивается переходное сопротивление контакта и, как следствие, его перегрев и выход из строя.

При токе короткого замыкания, проходящем через коммутирующие контакты, происходит увеличение переходного сопротивления из-за ослабления контактного нажатия, вызываемого электродинамическими силами. Сваривание замкнутых контактов при коротком замыкании происходит, как правило, за счет электродинамического отброса, когда электродинамические силы равны контактному нажатию или превосходят его. Возникающая при отбросе контактов дуга вызывает большое оплавление рабочих поверхностей и их сваривание при обратном замыкании. При отключении токов короткого замыкания происходит сильное выгорание и оплавление контактов. Снижение износа дугогасительных контактов достигается применением дугостойких материалов и быстрым перемещением дуги по контактам.

При включении на короткое замыкание вероятность сваривания контактов возрастает как за счет возможного дребезга, так и за счет меньшего нажатия в момент соприкосновения контактов [4].

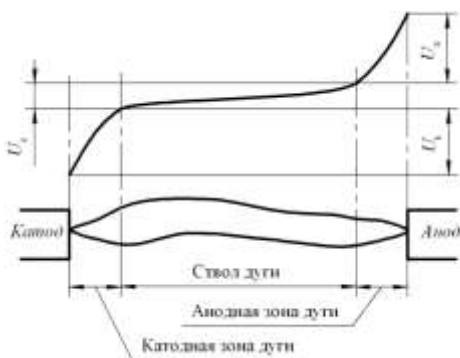
1.10 Условия возникновения и горения электрической дуги

В коммутационных ЭА, выключающих электрические цепи под током большого значения, разрыв цепи сопровождается образованием электрической дуги между контактами. В процессе размыкания контактов из-за резкого уменьшения контактного нажатия и возрастания переходного сопротивления контакты в последней точке соприкосновения сильно нагреваются. В результате создается поток электронов, движущийся от горячего катода, который ионизирует воздух между контактами. При токах свыше нескольких ампер между контактами возникает дуговой разряд, который представляет собой ярко светящийся плазменный шнур. Температура электрической дуги при токах в несколько ампер около 5000 °С, при токах несколько сотен ампер температура дуги может достигать 12000 °С. В катодной зоне дуги температура выше, чем в анодной.

При коммутации мощных индуктивных нагрузок (ТЭД, электродвигатель топливоподкачивающего насоса, обмотка возбуждения ТГ и т. п.) необходимо предпринимать специальные меры для гашения электрической дуги, так как в противном случае, электрическая дуга может вывести из строя контакты коммутационного аппарата.

Падение напряжения по длине дуги распределяется неравномерно. На

рисунке 1.45 видно, что основное падение напряжения приходится на катодную и анодную зоны дуги (в сумме от 15 до 30 В). Падение напряжения на створе дуги зависит от его длины. В общем случае можно сказать, что падение напряжения на дуге зависит от ее сопротивления, которое определяется степенью ионизации. Степень ионизации - это отношение числа ионизированных атомов к общему числу атомов в дуговом промежутке. Степень ионизации уменьшается при охлаждении дуги и повышении давления среды, в которой возникла дуга, поэтому технические методы гашения дуги заключаются в том, чтобы тем или иным способом охладить ее и (или) увеличить давление.



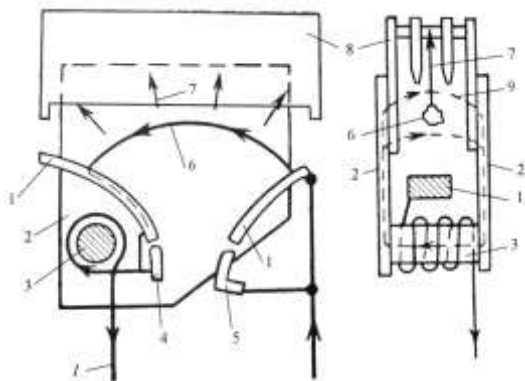
U_k - падение напряжения на катодной зоне дуги; U_c - падение напряжения на створе дуги; U_a - падение напряжения на анодной зоне дуги

Рисунок 1.45 - Распределение падения напряжения вдоль электрической дуги

1.11 Способы гашения электрической дуги

Чтобы ограничить тепловое воздействие электрической дуги на детали электрического аппарата используют различные технические способы гашения дуги: увеличение ее длины (растяжение ствола), воздушное дутье, магнитное дутье, дугогасительные решетки, масляное гашение дуги и гашение дуги высоким давлением. На тепловозных ЭА в настоящее время нашли применение: магнитное дутье, дугогасительные решетки и гашение дуги высоким давлением.

Магнитное дутье используется для гашения электрической дуги в поездных и пусковых контакторах, контакторах включения вспомогательных электрических машин и возбуждения тягового генератора. Принцип магнитного дутья основан на перемещении створа дуги из промежутка между контактами под воздействием внешнего магнитного поля. Схема магнитного дутья поездного контактора показана на рисунке 1.46.



- I* - коммутируемый ток (ток дуги); 1 - дугогасительный рог; 2 - магнитопровод дугогасительной системы; 3 - дугогасительная катушка с сердечником; 4 - неподвижный контакт; 5 - подвижный контакт; 6 - электрическая дуга; 7 - направление движения створа дуги; 8 - дугогасительная камера; 9 - направление силовых магнитных линий поля, создаваемого дугогасительной катушкой

Рисунок 1.46 - Схема дугогасительной системы поездного контактора [6]

Магнитное поле создается дугогасительной катушкой 3, которая включена последовательно с контактами 4 и 5. При размыкании контактов из-за возникшей электрической дуги 6 ток *I* в коммутируемой цепи не прекращается, то есть по дугогасительной катушке протекает ток, который создает магнитное поле. Силовые линии магнитного поля 9 пронизывают пространство между контактами, где находится дуга 6. Так как дуга является проводником, по которому течет ток, она по правилу правой руки начинает двигаться. Направление намотки дугогасительной катушки выбрано таким образом, чтобы дуга двигалась в направлении,

показанном стрелкой 7 (вверх). При этом дуга перескакивает с контактов 4 и 5 на дугогасительные рога 1 и попадает в дугогасительную камеру 8.

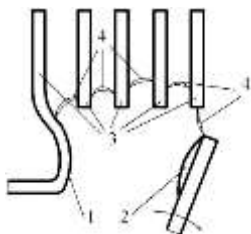
Дугогасительная камера представляет собой набор плоских пластин, изготовленных из дугостойкого электроизоляционного материала - асбестоцемента. Попадая на рога 1 в дугогасительную камеру 8, электрическая дуга растягивается и расщепляется на несколько параллельных пучков и из-за контакта с холодными пластинами камеры интенсивно охлаждается. Увеличение длины и охлаждение способствуют увеличению падения напряжения на дуге и, как следствие, ее быстрому гашению. Кроме магнитодинамической силы в данной конструкции на электрическую дугу действуют силы восходящего потока нагретого воздуха, что способствует уменьшению времени ее гашения.

На некоторых ЭА, например, контакторах ТКПМ дугогасительная камера состоит из двух деталей сложной формы, которые образуют сужающуюся зигзагообразную щель. Извилистая форма щели позволяет в меньших габаритах получить более длинную дугу и ускорить ее гашение.

В некоторых конструкциях (например, в контакторе МК6) магнитное поле для гашения электрической дуги создается постоянным магнитом, достоинство такой конструкции - скорость гашения дуги не зависит от ее тока. В конструкции с дугогасительной катушкой дуга с малым током создает магнитное поле 9 малой напряженности и, следовательно, магнитодинамическая сила, действующая на дугу, невелика, что приводит к неприемлемому увеличению времени ее гашения. Однако следует иметь в виду, что при использовании постоянных магнитов ЭА становится поляризованным. То есть при изменении полярности подключения контактов 4 и 5 будет меняться направление движения электрической дуги. Автору известен случай, когда электрические аппараты с такой системой дугогашения коммутировали систему с двумя генераторами постоянного тока, работающими параллельно. При одновременном отключении возбуждения генераторов через коммутационный ЭА кратковременно протекал ток обратного направления. При отключении контактов в этот момент электрическая дуга перемещалась не в дугогасительную камеру, а внутрь ЭА, что в конце концов привело к его возгоранию и выходу из строя.

Дугогасительная решетка применяется в автоматических выключателях, которые на тепловозах используются для нечастых оперативных переключений и защиты от перегрузки по току вспомогательных электрических машин и других низковольтных цепей. Принцип действия дугогасительной решетки основан на разбивании ствола дуги на несколько последовательно включенных дуг. Гашение

дуги происходит за счет увеличения числа катодных и анодных зон, что при тех же линейных размерах позволяет существенно увеличить падение напряжения на электрической дуге. Схема работы дугогасительной решетки показана на рисунке 1.47. Дуга загоняется в дугогасительную решетку благодаря электродинамическому взаимодействию тока дуги с током в токоведущих частях подвижного и неподвижного контактов, а также из-за взаимодействия магнитного поля, создаваемого током электрической дуги, с пластинами дугогасительной решетки, которые изготавливают из ферромагнитного материала (например, из стали). Применяют конструкции дугогасительных решеток и из немагнитных материалов.

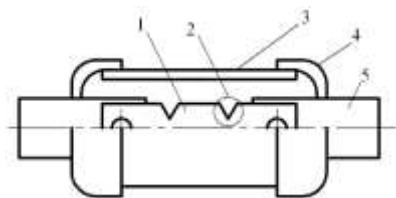


1 - неподвижный контакт; 2 - подвижный контакт; 3 - пластины дугогасительной решетки; 4 - электрическая дуга

Рисунок 1.47 – Схема дугогасительной решетки

Гашение электрической дуги высоким давлением используется в трубчатых предохранителях. Полость предохранителя, в которой находится плавкая вставка, заполняют толченым мелом и мраморной крошкой. Мел и мраморная крошка при перегорании плавкой вставки и возникновении электрической дуги под воздействием высокой температуры выделяют углекислый газ и водяной пар. В результате давление внутри предохранителя повышается, и дуга гаснет - аварийный ток разрывается. У предохранителей, рассчитанных на ток свыше 60 А, плавкую вставку делают из цинка, пары которого имеют высокую скорость деионизации, что также способствует ускорению гашения дуги [6].

Для увеличения скорости перегорания при токах короткого замыкания плавкая вставка, рассчитанная на большие номинальные токи, имеет клиновидные вырезы 2, показанные на рисунке 1.48.



1 - плавкая вставка; 2 - клиновидный вырез; 3 - трубка;
4 - крышка; 5 - врубной контакт

Рисунок 1.48 - Устройство трубчатого предохранителя (с упрощениями)

При протекании аварийного тока плавкая вставка 1 расплавляется в местах клиновидных вырезов 2, где меньше площадь поперечного сечения.

1.12 Методы повышения коммутационной стойкости контактов реле управления

При размыкании контактов реле управления электрическая дуга, как правило, не возникает, так как коммутируемый ток не превышает нескольких ампер. Однако отключаемая цепь, например, катушка электромагнита контактора или электропневматического вентиля, имеет индуктивность, достаточную для возникновения электрического разряда между контактами в момент отключения. Этот электрический разряд вызывает обгорание контактов, что приводит к повышению переходного сопротивления, дальнейшему чрезмерному нагреву контактов и выходу их из строя.

Для повышения коммутационной стойкости контактов тепловозных реле управления используют следующие приемы: параллельно индуктивной нагрузке включают коммутационную цепочку из диода и сопротивления; для разрыва цепи индуктивной нагрузки используют несколько последовательно включенных контактов одного реле; параллельно контактам, коммутирующим индуктивную нагрузку, включают сопротивление.

Коммутационные цепочки из диода и сопротивления используют на тепловозе серии 2ТЭ10У для цепей питания катушек: реле РУ6, блок-магнита регулятора частоты вращения коленчатого вала дизеля ЭТ, электропневматических вентилях песочниц и других ЭА. Рассмотрим работу такой цепочки на примере катушки пускового контактора ДЗ. На

рисунке 1.49 показана упрощенная схема цепи питания ДЗ. В случае отсутствия цепочки из диодов Д25, Д26 и сопротивления Р23 при отключении контакта Д1 в результате явления ЭДС самоиндукции на катушке ДЗ между контактами Д1 проскакивает хорошо заметная искра.

Искра возникает потому, что при разрыве цепи питания катушки ДЗ ток в ней I начинает быстро уменьшаться и соответственно ДЗ уменьшается магнитный поток Φ .

При любом изменении магнитного потока, в том числе и при $d\Phi$ уменьшении, производная магнитного потока по времени не равна нулю. Чем быстрее происходит уменьшение магнитного потока, тем больше величина и больше значение ЭДС самоиндукции e_L . На рисунке хорошо видно, что значение e_L в несколько раз превышает значение напряжения питания. Этот импульс (амплитудой несколько сотен вольт) вызывает искру между контактами, разрывающими цепь индуктивной нагрузки. Анализ зависимости показывает, что для уменьшения значения e_L при разрыве цепи питания необходимо уменьшить скорость изменения магнитного потока или, соответственно, тока в индуктивной нагрузке. Достичь этого можно с помощью коммутационной цепочки, состоящей из диодов Д25, Д26 и сопротивления Р23, причем диоды подсоединены так, чтобы при включенном питании катушки ДЗ они были заперты, и ток по цепи Д25, Д26 и Р23 не протекал.

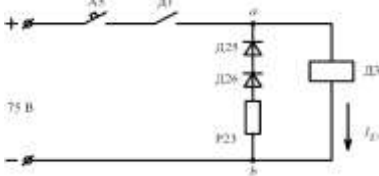
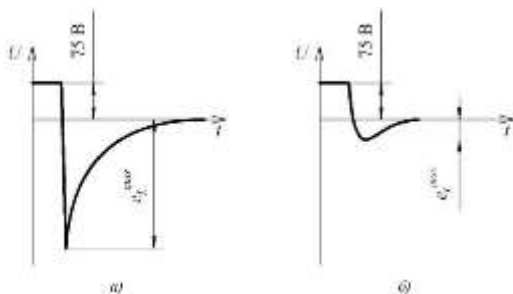


Рисунок 1.49 - Упрощенная схема цепи питания катушки пускового контактора ДЗ теплового 2ТЭ10У

При отключении питания в результате возникновения ЭДС самоиндукции катушка ДЗ сама становится источником питания, причем ее полярность направлена так, чтобы поддержать значение минус - к точке a . При таком включении диоды Д25, Д26 открываются, и ток $I_{ДЗ}$, поддерживаемый ЭДС самоиндукции, протекает по контуру: катушка ДЗ, b , Р23, Д25, Д26, a , катушка ДЗ.



а - без коммутационной цепочки; б - с коммутационной цепочкой

Рисунок 1.50 - Осциллограммы переходных процессов при отключении индуктивной нагрузки

Обратите внимание на то, что при размыкании контакта Д1 направление тока в катушке Д3 не изменяется, а полярность в точках *a* и *b* изменяется на противоположную. Это связано с тем, что, как уже говорилось, катушка Д3 при отключении становится источником ЭДС. Так как после отключения контакта Д1, благодаря коммутационной цепочке, появляется замкнутый контур для тока ЭДС самоиндукции, скорость его изменения существенно уменьшается, и соответственно уменьшается значение e_L^{\max} , что показано на рисунке 3.6, б. Значение e_L^{\max}

зависит от индуктивности катушки, от того, насколько быстро откроется *p-n-переход* диода, а также от величины активного сопротивления катушки и резистора коммутационной цепочки. При e_L^{\max} правильном выборе параметров коммутационной цепочки e_L не превышает нескольких десятков вольт и не вызывает искрения на контактах.

Следует иметь в виду, что при малом активном сопротивлении катушки электромагнита и коммутационной цепочки ток, поддерживаемый ЭДС самоиндукции, может создавать магнитное поле, достаточное для удержания якоря реле или контактора во включенном состоянии, то есть вызывать заметную задержку при его отключении.

Схема с включением сопротивления параллельно коммутирующим контактам используется в цепи питания обмотки независимого возбуждения ОВ тягового генератора тепловозов 2ТЭ10М и 2М62

(рисунок 1.51). При отключении контакта КВ ток некоторое время протекает через сопротивление СВГ, а так как сопротивление его гораздо меньше, чем сопротивление воздушного промежутка между контактами КВ, то величина e_L^{\max} не достигает больших значений.

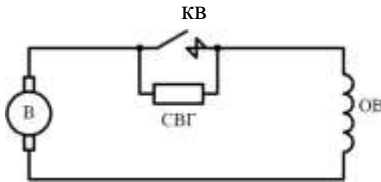


Рисунок 1.51 - Упрощенная схема цепи питания обмотки независимого возбуждения тягового генератора тепловозов 2ТЭ10М и 2М62

От последовательного включения с сопротивлением СВГ диода или конденсатора, как в других цепях отказались, так как одновременно с контактом КВ отключается и контактор ВВ, который отключает возбуждение возбудителя В. Поэтому после окончания переходного процесса ток через резистор СВГ прекращается из-за отсутствия напряжения на якоре возбудителя В. При замкнутом контакте КВ сопротивление СВГ им шунтируется, и также не оказывает влияния на работу схемы.

1.13 Электропневматические механизмы

В качестве пневматического привода для коммутационных аппаратов на тепловозах применяют как поршневые двигатели, так и диафрагменные. Пневматический привод используется в коммутационных аппаратах тяговой цепи тепловоза, где необходимо создавать большие контактные нажатия и не требуется высокое быстродействие ЭА. Поршневой привод на тепловозах с передачей мощности постоянного тока используется в поездных контакторах типа ПК-753, а диафрагменный - в реверсоре ППК-8060 и групповых контакторах ослабления поля ТЭД ПКГ-565 [9, 10]. На тепловозах с передачей мощности переменного-постоянного тока наблюдается тенденция использования поршневого привода для всех силовых коммутационных аппаратов [11].

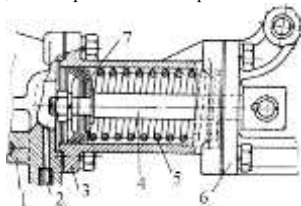
Конструктивно диафрагменные камеры значительно проще

поршневых приводов, а габариты и вес их меньше. Правильно изготовленная диафрагменная камера выдерживает от 500 до 600 тысяч включений, тогда как уплотнения поршневого привода выдерживают от 10 до 15 тысяч ходов.

Существенным недостатком диафрагменных камер является сравнительно небольшой ход штока (до 50 мм) вследствие ограниченной возможности прогиба диафрагмы. При большей величине прогиба возможен разрыв диафрагмы. Кроме того, в отличие от поршневых двигателей, где сила на штоке остается постоянной на всей длине хода, усилие на штоке диафрагменной камеры по мере увеличения длины хода снижается. Это объясняется тем, что часть полезной мощности двигателя тратится на растяжение диафрагмы, при этом с увеличением хода возрастает и сопротивление растяжению, а следовательно, снижается усилие на штоке.

1.14 Поршневой пневмопривод

Устройство пневмоцилиндра поездного контактора ПК-753 показано на рисунке 1.52. При открытии клапана электропневматического вентиля через канал 2 в полость слева от манжеты 7 начинает поступать сжатый воздух. Когда давление воздуха становится достаточным для преодоления усилия предварительного сжатия возвращающей пружины 5 и усилия противодействия механизма контактной системы контактора, шток 4 начинает перемещаться вправо - контактор включается.



1 - нижняя крышка цилиндра; 2 - канал для подачи сжатого воздуха;
3 - цилиндр; 4 - шток; 5 - возвращающая пружина; 6 - крышка цилиндра; 7 - манжета

Рисунок 1.52 - Пневмоцилиндр поездного контактора ПК-753

Из-за необходимости преодоления усилия сопротивлений механизма контактора и усилия предварительного сжатия возвращающей пружины

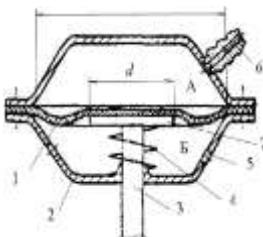
наблюдается некоторое запаздывание от момента открытия клапана электропневматического вентиля до начала движения механизма контактора. Это связано с тем, что воздух является сжимаемой средой.

Для определения диаметра пневмоцилиндра сначала необходимо рассчитать механическую характеристику контактора, например, по методике. Механическая характеристика представляет собой все силы сопротивления механизма, приведенные к точке приложения усилия от привода. Необходимая величина усилия и ход штока выбираются по механической характеристике из условия обеспечения полного включения контактора.

1.15 Диафрагменный пневмопривод

В тепловозных контакторах используется диафрагменный привод одностороннего действия, компоновка которого показана на рисунке 1.53.

Диафрагма 1 изготавливается из тканого прорезиненного ремня. При подаче сжатого воздуха через штуцер 6 в полость А диафрагма деформируется и перемещает опорный диск 7 со штоком 3 вниз. При соединении полости А с атмосферой пружина 4 возвращает шток с опорным диском в первоначальное положение.



А - рабочая полость; Б - нерабочая полость; 1 - диафрагма; 2 - корпус; 3 - шток; 4 - возвращающая пружина; 5 - отверстие для выхода воздуха из нерабочей полости; 6 - штуцер для подачи сжатого воздуха; 7 - опорный диск

Рисунок 1.53 – Компоновка одностороннего диафрагменного привода

Из-за растяжения диафрагмы в конце хода штока усилие, развиваемое приводом, уменьшается. При данной величине прогиба диафрагмы потери мощности привода находятся в прямой зависимости от величины отношения рабочего диаметра диафрагмы к диаметру опорного диска. Таким образом, чем меньше отношение D , тем меньше затраты мощности на растяжение диафрагмы и тем больше КПД привода.

диафрагмы к диаметру опорного диска позволяет увеличить площадь рабочей (активной) части диафрагмы, а следовательно, и мощность двигателя. При проектировании практически принимают $D < 0,8$. С учетом всего вышесказанного, при изогнутых диафрагмах ход штока следует принимать равным примерно $0,2D$, а при плоской диафрагме для обеспечения минимальных потерь он не должен превышать $0,15D$.

Аналогично, как и в случае проектирования поршневого привода, необходимо тем или иным способом получить механическую характеристику контактора. По известным значениям усилия и перемещения с помощью приближенной формулы (5.2) [13] находят основные размеры диафрагменного привода:

$$P = 0,2 ((D+d)^2 p) - P_{\text{вп}},$$

где P - усилие на штоке, Н;

D - диаметр рабочей части диафрагмы, м;

d - диаметр опорного диска, м;

p - давление воздуха, подводимого к диафрагменному приводу, Па;

$P_{\text{вп}}$ - усилие возвращающей пружины в конце хода штока, Н.

1.16 Электронные измерительные преобразователи

Преобразователи обычно классифицируются по их принципу работы или по их практическому применению.

По назначению измерительные преобразователи делят на первичные преобразователи (датчики), унифицированные и промежуточные.

На *первичный преобразователь (датчик)* непосредственно воздействует измеряемая неэлектрическая величина (сила, давление, уровень, температура и т.д.). Датчик является первым в измерительной цепи и включает в себя *чувствительный элемент* (зонд, мембрана и др.) и все другие необходимые элементы для преобразования входной неэлектрической величины в выходную электрическую величину. Датчик может состоять из одного или нескольких измерительных преобразователей, объединенных в единую конструкцию.

В унифицированном преобразователе, состоящем из датчика и схемы согласования, измеряемая физическая величина преобразуется с использованием источника энергии в нормированную выходную величину. Нормированные сигналы постоянного тока находятся в диапазоне от 0 до ± 5 мА или от 0 до ± 20 мА. Для устройств со смещенным нулем диапазон тока сужен: от ± 1 до ± 5 мА или ± 4 до ± 20 мА. При необходимости регулирования границы диапазона токовых сигналов лежат в пределах: нижняя от 0 до 5 мА, верхняя от 12 до 25 мА. В устройствах с нормированными токовыми сигналами допускается применение различных измерительных приборов с внутренним сопротивлением не более 1 кОм. Нормированные значения диапазонов сигналов напряжения составляют от 0 до ± 1 В и от 0 до ± 10 В, причем внутреннее сопротивление измерительных приборов не должно быть менее 1 кОм. При использовании в качестве выходной величины частоты рекомендуемый диапазон ее изменения составляет 5—25 Гц. В пневматических системах нормировано давление газа. Оно должно находиться в диапазоне 0,02—0,1 Мпа.

Промежуточный преобразователь получает сигнал измерительной информации от предшествующего преобразователя и передает после преобразования этот сигнал последующему преобразователю.

По характеру преобразования входной величины измерительные преобразователи делят *нелинейные* и *линейные*. Линейный преобразователь реализует линейную функциональную зависимость между входной и выходной величинами. У нелинейных преобразователей эта связь нелинейная.

По принципу действия датчики делятся на *генераторные* и *параметрические*. Выходным сигналом генераторных датчиков является ЭДС, напряжение, ток или электрический заряд, функционально связанные с измеряемой величиной, например ЭДС термопары. В параметрических датчиках измеряемая величина вызывает пропорциональное ей изменение параметра электрической цепи (R , L , C), например величины сопротивления реостатного датчика. К генераторным относятся индукционные, пьезоэлектрические, термоэлектрические и некоторые разновидности электрохимических датчиков. Остальные датчики являются параметрическими.

По принципу действия датчики также подразделяются на типы:

- а) резистивные — в них измеряемая величина преобразуется в изменение его сопротивления;
- б) электромагнитные — в них измеряемая величина преобразуется в изменение индуктивности или взаимной индуктивности;

- в) емкостные — в них измеряемая величина преобразуется в изменение емкости;
- г) пьезоэлектрические, в которых динамическое усилие преобразуется в электрический заряд;
- д) гальваномагнитные датчики, основанные на эффекте Холла и преобразующие величину действующего магнитного поля в ЭДС;
- е) тепловые — в них измеряемая температура преобразуется в ЭДС или в величину термосопротивления;
- ж) оптоэлектронные — в них оптические сигналы преобразуются в электрические.

Для датчиков основными характеристиками являются: тип, диапазон измеряемой величины, диапазон рабочих температур и погрешность в этом диапазоне, обобщенное входное и выходное сопротивление, частотная характеристика.

Области применения датчиков чрезвычайно разнообразны. Благодаря внедрению новых технологий изготовления (высоковакуумное напыление, распыление, химическое осаждение из газовой фазы, фотолитография и т.д.) и новых материалов непрерывно расширяются сферы их применения. Рассмотрим лишь некоторые из них:

- 1) промышленная техника измерения и регулирования;
- 2) робототехника;
- 3) автомобилестроение;
- 4) бытовая техника;
- 5) медицинская техника.

К стандартным применениям в области промышленной техники измерений относятся:

- расход, количество;
- давление;
- температура;
- уровень;
- химический состав.

Кроме этих стандартных датчиков все большим спросом пользуются датчики новых типов, например:

- датчики положения, перемещения и изображения;
- оптические и волоконно-оптические датчики;
- биодатчики (биотехнология);
- многокоординатные датчики (распознавание образов).

Для современных производств характерна тенденция применения датчиков в интерактивном режиме, т.е. когда результаты измерений сразу же используются для регулирования процесса. Благодаря этому в любой

момент обеспечивается корректировка технологического процесса, что, естественно, ведет к более рациональному производству. При промышленном применении определяющим фактором является погрешность, которая при регулировании процессов должна быть не более 1—2%, а для задач контроля — 2—3%.

В робототехнике, которая в принципе представляет собою сложную информационную систему, робот обеспечивает получение, обработку и преобразование информации. При получении информации через датчики роботу требуется прежде всего способность «видеть» и «ощупывать», т.е. использование оптических и многокоординатных датчиков.

При изготовлении датчиков для автомобильной электроники все в большей мере применяют современные технологии, обеспечивающие экономичное изготовление датчиков минимальных размеров для отдельных систем автомобиля (рулевое управление, двигатель, тормоза, электроника кузова), для обеспечения безопасности и надежности (система блокировки и противоугонная система), информационная система (расход топлива, температура, маршрут движения и т.д.). С помощью этих датчиков измеряются различные физические параметры, такие как температура, давление, скорость вращения, ускорение, влажность, перемещение или угол, расход и т.д. Требования к этим датчикам в отношении воздействия окружающей среды, естественно, достаточно высокие.

В табл. 1.7 приведены области применения некоторых типов датчиков.

Таблица 1.7 – Область применения преобразователей различной конструкции

Тип преобразователя	Применение								
	Давление (сила)	Смещение	Положение	Скорость	Ускорение	Вибрация	Температура	Магнитный поток	Оптические измерения
Тензодатчик	+	+	+	+	+	+			
Потенциометрический датчик	+	+	+	+	+				
Линейный дифференциальный трансформатор	+	+	+	+	+				
Индуктивный датчик		+	+	+	+	+			
Датчик Холла		+	+					+	
Вихретоковый датчик		+	+	+					
Магниторезистивный датчик		+	+					+	
Емкостной датчик	+	+	+		+	+			
Пьезоэлектрический датчик	+	+		+	+	+			
Термосотротивление							+		
Термистор							+		
Термопара							+		
Фотоэлемент									+
Фотосопротивление									+
Фотогальванический датчик									+
Оптопара	+	+	+	+	+	+			

Измерительное преобразование представляет собой отражение размера одной физической величины размером другой физической величины, функционально с ней связанной. Применение измерительных преобразований является единственным методом практического построения любых измерительных устройств. Физической основой измерительного преобразования является преобразование и передача энергии, в частности преобразование одного вида энергии в другой. Существует целый ряд причин, по которым наиболее целесообразно для получения измерительной информации преобразование различных физических величин в электрические (ток, напряжение, сопротивление). Наиболее существенными преимуществами такого преобразования являются следующие.

Удобство воспроизведения единицы измерения. В настоящее время имеется огромное разнообразие мер – носителей единиц электрических величин. Эти меры электрических величин при высокой точности воспроизведения единицы измерения имеют приемлемую стоимость и пригодны для использования при решении самого широкого круга измерительных задач.

Удобство сравнения электрических величин и в том числе измеряемой электрической величины и единицы ее измерения. Данная операция легко и с высокой точностью решается с помощью современных электронных средств.

Высокая точность преобразований и измерений. Относительная погрешность современных измерительных приборов и преобразователей для измерения электрических величин не превышает долей процента и, как правило, является много меньшей по сравнению с допустимой погрешностью измерения, преобразуемой в электрический сигнал измеряемой физической величины.

Простота изменения чувствительности в широком диапазоне значений измеряемой величины. Для этого эффективно используются электронные усилители и делители электрических сигналов.

Высокое быстродействие измерения электрических сигналов. Современные электронные средства позволяют преобразовывать электрические сигналы, имеющие длительность порядка единиц – десятков пикосекунд.

Возможность автоматизации. Современные электрические приборы и преобразователи позволяют полностью исключить участие человека на всех стадиях измерения.

Удобство передачи информации. Обусловлено относительной простотой передачи электрических сигналов по каналам проводной и беспроводной связи на большие расстояния и без потерь измерительной информации.

Возможность дистанционных измерений. Последнее обусловлено в свою очередь упомянутыми ранее возможностями автоматизации электрических измерений и передачи измерительной информации на большие расстояния.

Удобство хранения информации. Для этих целей могут быть использованы любые современные электронные запоминающие устройства как оперативного, так и долговременного характера.

В связи с вышесказанным подавляющее большинство средств измерений строится на принципе преобразования измеряемой физической величины в электрический сигнал. Такое преобразование будем классифицировать как прямое измерительное преобразование. Соответственно преобразование электрических величин в неэлектрические, используемое в частности для построения источников различных физических полей, реализации методов измерения сравнения или замещения, будем классифицировать как обратное измерительное преобразование.

Следует заметить, что взаимосвязь различных физических величин, преобразование одного вида энергии в другой или в более общем плане – наиболее общие формы движения материи, изучаемые физикой, могут использоваться для решения самых различных практических задач. На одних и тех же физических явлениях могут строиться как измерительные преобразования, так и энергетические, предназначенные для преобразования потоков энергии. Например, явление электромагнитной индукции используется в измерительной технике для измерения скорости вращения, характеристик магнитных полей и материалов, а в энергетике – для выработки электрической энергии вращаемой жидкостью или газом электрической турбиной. Явление проникновения ионизирующих излучений через вещество может быть использовано как для решения измерительных задач: толщинометрии, дефектометрии, так и для воздействия на биологические объекты в медицинских и военных целях. Но если в случае энергетических (их еще часто называют силовыми) преобразований основной интерес представляет коэффициент полезного действия, показывающий какая часть преобразуемой энергии используется с пользой, то в случае измерительных преобразований на

первый план выходят другие критерии эффективности преобразования: степень зависимости результата преобразования от преобразуемой величины (коэффициент преобразования или чувствительность), линейность функции преобразования, инерционность преобразования, характер зависимости от влияния внешних факторов и т.п.

Измерительные преобразования осуществляются с помощью измерительных преобразователей. *Измерительный преобразователь* – техническое средство, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или сигнал измерительной информации, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи и имеющее нормированные метрологические характеристики. Существует большое число классификационных признаков измерительных преобразователей. Отметим здесь только те, которые являются важными для рассматриваемого раздела измерительной техники.

В зависимости от вида выходного сигнала различают генераторные и параметрические измерительные преобразователи. К генераторным относятся преобразователи, выходные сигналы которых обладают энергетическими свойствами (ЭДС, электрический ток, механическая сила, давление). Параметрическими называются преобразователи, в которых изменение входного сигнала приводит к изменению их определенных параметров – активного сопротивления, емкости, индуктивности, упругости и др. Для получения энергетического сигнала в этих случаях требуются дополнительные источники энергии.

По месту в функциональной схеме измерения различают первичные измерительные преобразователи, на которые непосредственно воздействует преобразуемая величина, и промежуточные, стоящие в цепи преобразования после первичного.

Разновидностями промежуточных измерительных преобразователей по функциональному назначению являются передающие и масштабные преобразователи. Передающий измерительный преобразователь – измерительный преобразователь, предназначенный для дистанционной передачи сигнала измерительной информации. Масштабный измерительный преобразователь – измерительный преобразователь, предназначенный для изменения размера величины или измерительного сигнала в заданное число раз.

По характеру преобразования промежуточные измерительные преобразователи различают на: аналоговый, аналого-цифровой и цифроаналоговый.

Аналоговый измерительный преобразователь – измерительный преобразователь, преобразующий одну аналоговую величину (аналоговый измерительный сигнал) в другую аналоговую величину (измерительный сигнал). Аналого-цифровой измерительный преобразователь — измерительный преобразователь, предназначенный для преобразования аналогового измерительного сигнала в цифровой код.

Цифро-аналоговый измерительный преобразователь – измерительный преобразователь, предназначенный для преобразования числового кода в аналоговую величину.

В соответствии с предметом рассмотрения данной книги в дальнейшем внимание будет уделяться преимущественно первичным измерительным преобразователям.

Для характеристики первичных измерительных преобразователей может использоваться термин датчик. *Датчик* – конструктивно обособленный первичный измерительный преобразователь. В области измерений ионизирующих излучений датчик называют детектором. В ряде случаев в русскоязычной литературе используется англоязычный термин сенсор (от английского sensor).

По рабочему положению относительно объекта измерения (контроля) измерительные преобразователи делят на проходные, накладные и комбинированные.

Составные элементы накладных преобразователей располагаются с одной стороны объекта измерения.

Проходные преобразователи в процессе измерения либо охватывают объект снаружи (наружные проходные), либо помещаются внутри объекта (внутренние проходные), либо погружаются в жидкий объект (погружные).

Комбинированные преобразователи представляют собой конструкцию из накладных и проходных преобразователей.

Особую разновидность представляют собой экранные преобразователи, отличающиеся тем, что их составные элементы, создающие и воспринимающие физическое поле, разделены контролируемым объектом.

По характеру зависимости выходного сигнала первичного измерительного преобразователя от преобразуемого параметра объекта

измерения различают абсолютный и дифференциальный измерительные преобразователи.

Выходной сигнал абсолютного измерительного преобразователя определяется абсолютным значением преобразуемого параметра объекта измерения (термин абсолютный здесь используется в значении безотносительный, безусловный).

Термин *дифференциальный* происходит от английского different – различный, разностный. Условно можно считать, что дифференциальный измерительный преобразователь состоит из двух однотипных абсолютных преобразователей, на которые преобразуемая величина воздействует по-разному, а результирующий выходной сигнал определяется разностью выходных сигналов отдельных преобразователей. Дифференциальные измерительные преобразователи, а также дифференциальное включение отдельных абсолютных измерительных преобразователей используют для корректировки функции преобразования (в том числе с целью обеспечения нулевого значения выходного сигнала при нулевом значении преобразуемого параметра, повышения линейности функции преобразования), а также компенсации влияния на результат преобразования какого-либо мешающего фактора.

Для системного изучения физических явлений и законов, положенных в основу различных измерительных преобразований целесообразно использовать классификацию измерительных преобразований и, соответственно, измерительных преобразователей, по виду физического поля, через которое осуществляется воздействие преобразуемой величины на первичный измерительный преобразователь. Измеряемая величина при этом воздействует на те или иные характеристики физического поля или характеристики материалов, или предметов в данном физическом поле.

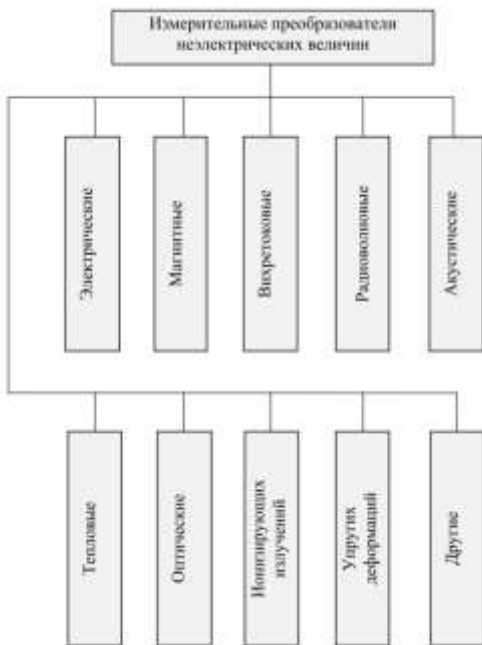


Рисунок 1.54 – Классификация измерительных преобразователей

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Основными схемами тепловоза являются **общая схема** и **схема отдельных цепей**. Линии на электрической схеме изображают отдельные цепи. Условные обозначения служат для указания устройств, расположенных в этих цепях. Эти и другие полезные сведения объединяются вместе и образуют общую электрическую схему, которая помогает проследить отдельные цепи и обнаружить неисправности на тепловозе. Электричество следует по строго определенному маршруту. Оно выходит из источника энергии - аккумуляторной батареи или генератора, протекает по проводам цепи и возвращается туда, откуда начало свой путь.[14]

Вид схемы электрических цепей локомотивов и электропоездов зависит от предъявляемых к ней требований.

По назначению схемы разделяют на:

- принципиальные;
- полумонтажные или исполнительные;
- монтажные.

В зависимости от способа изображения различают схемы:

- совмещенные;
- развернутые;
- блочные.

Кроме того, схемы могут быть однолинейными и многолинейными.

По роду электрических цепей различают силовые схемы и схемы цепей управления.

2.1 Принципиальные схемы

Принципиальные схемы поясняют принцип работы отдельных видов оборудования (аппаратов, машин и т.д.) или всей цепи прохождения тока по элементам этого оборудования.[13] Эти схемы составляют по возможности упрощенно, так чтобы лишние приборы, аппараты и провода не затрудняли чтения и не мешали сосредоточить внимание на изучении основных принципов работы оборудования. В принципиальных схемах стремятся избегать большой детализовки и максимально упростить изображение узлов (рисунок 2.1).

Например, последовательно или параллельно соединенные сопротивления заменяют одним эквивалентным, идентично включенные машины или аппараты - по возможности одной машиной или аппаратом и т. д. Элементы оборудования располагают на схеме так, чтобы легко было проследить цепь прохождения тока. Провода по возможности

изображают прямолинейно, а соединения их друг с другом обозначают точками в местах пересечения. На принципиальных схемах нет необходимости указывать тип и мощность оборудования, сечение и длину проводов, и второстепенные элементы, так как это затрудняет чтение и понимание схемы. Принципиальные схемы должны быть просты и наглядны.

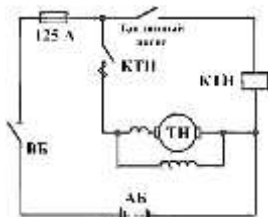


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема питания электродвигателя топливоподкачивающего насоса

Применительно к подвижному составу различают два вида принципиальных схем.

По **элементарным принципиальным схемам** изучают физические явления, происходящие в электрических цепях. Чтобы лучше понять полные схемы, всегда полезно упростить их до элементарных (рисунок 2.2).

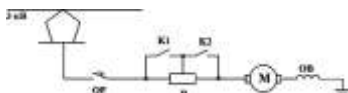


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема электровоза постоянного тока

Рассмотрим схему выпрямительной установки тепловоза 2ТЭ116 (рисунок 2.3). На электрической схеме она изображается упрощено в виде мостовой схемы трехфазного выпрямителя, содержащего 12 полупроводниковых диодов, хотя в действительности она содержит 240 полупроводниковых диодов.

На **полных принципиальных схемах** изображают все электрическое оборудование локомотива или электропоезда, указывают порядок соединения обмоток силовых трансформаторов, электрических машин, аппаратов и приборов, систему сигнализации и нумерацию проводов.

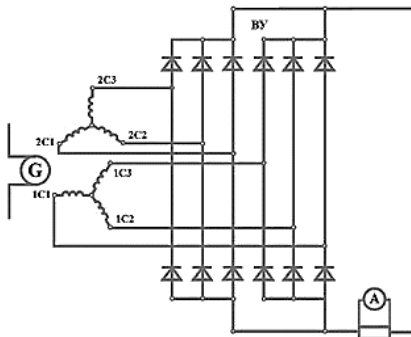


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема выпрямительной установки тепловоза

Внутренние соединения машин и аппаратов обычно не показывают. На схемах помещают развертки аппаратов, таблицы величин сопротивлений, перечни предохранителей, диаграммы и таблицы замыкания контакторов и переключателей и т. д. Схемы снабжают экспликацией (перечнем электрооборудования, называемым часто спецификацией, что не совсем правильно) (рисунок 2.4).

Полные принципиальные схемы такого вида применяются главным образом для локомотивов и электропоездов. Они дают представление о работе всех цепей локомотива и взаимодействии оборудования, входящего в эти цепи, и в то же время не являются громоздкими. Такие схемы помещают в паспортах локомотивов и вывешивают в кабинах управления.

2.2 Исполнительные схемы

Исполнительные схемы отличаются от принципиальных тем, что в них отражены некоторые элементы монтажного исполнения. [15] Соединение проводов не обозначают точками, а обязательно показывают зажимы или клеммы, к которым провода присоединены (рисунок 2.5).

Для электроподвижного состава полумонтажные схемы не составляют, но они получили широкое распространение при изображении электрических цепей тепловоза. Применительно к

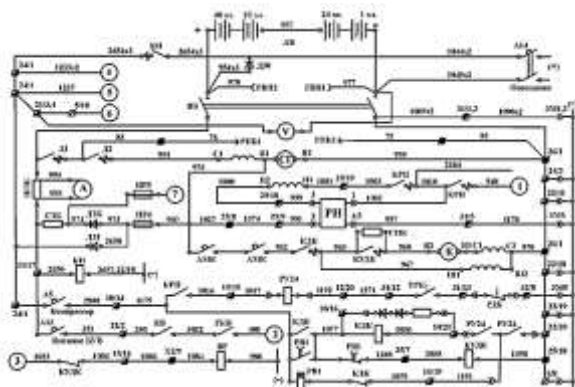


Рисунок 2.5 – Фрагмент электрической схемы тепловоза

2.3 Монтажные схемы

Монтажные схемы являются рабочими чертежами, по которым выполняется монтаж. [17] Оборудование на локомотивах и электропоездах обычно комплектуют на отдельных панелях, в отдельных блоках, ящиках и шкафах. Каждое такое устройство имеет свою схему – рабочий чертеж.

На монтажных схемах оборудование показывают так, как оно расположено в действительности на панели, и изображают чаще всего не символами, а характерными очертаниями, обозначая соединительные зажимы или выводные клеммы. Выводы обмоток и зажимы аппаратов обычно присоединяют к так называемым клеммным сборкам - группам (рядам) винтовых зажимов (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Фрагмент монтажной схемы локомотива

Для уяснения принципа работы машин, аппаратов и электрических цепей в целом такие схемы непригодны и машинисты пользуются ими редко. Чаще их используют работники ремонтных цехов.

Для маркировки применяют цифровую систему, марка состоит из ряда чисел. В необходимых случаях маркировка может содержать буквенную или цифровую приставку. Для цифровых обозначений применяют арабские цифры, а буквенных - прописные (большие) буквы. Чтобы облегчить нахождение и опознавание проводов и аппаратов на локомотивах согласно маркировке электрических схем, на аппаратах маркируют выводные клеммы, а наконечники проводов снабжают бирками с соответствующими обозначениями.

2.4 Способы исполнения схем

Совмещенные схемы – это такие, на которых условные обозначения обмоток, контактов и других элементов аппарата или машины располагают в одном месте примерно так, как они размещены в действительности (все элементы аппарата или машины обычно обведены штриховым контуром) (рисунок 2.7).

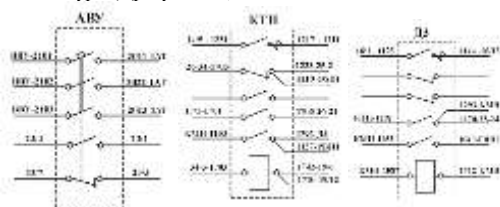


Рисунок 2.7 – Совмещенные схемы электрических аппаратов

Электрические цепи, образуемые соединением проводами элементов аппаратов и машин, четко показывают путь прохождения тока, однако при большом количестве аппаратов и машин они получаются громоздкими и схемы их трудно читаемы.

Развернутые схемы отличаются тем, что катушки, контакты и другие элементы одного аппарата размещены в различных частях схемы, там, где это более наглядно поясняет электрическую связь между ними. Контакты и катушки одного и того же аппарата могут находиться и в разных схемах. Например, силовые контакты реверсора показывают в силовой схеме локомотива, а блокировочные - в схеме цепи управления (рисунок 2.8).

Развернутые схемы более наглядны и удобны для чтения, но для их понимания нужно хорошо знать обозначения элементов аппаратов в перечне оборудования, прилагаемом к схеме. Для изображения электрических цепей локомотивов и электропоездов применяют преимущественно развернутые схемы.

Блочные схемы - это такие, где отдельные группы аппаратов или устройств условно изображены в виде блоков, соединенных линиями электрических связей. Блочная схема (блок-схема) дает представление о назначении узлов электротехнической установки и выполняемых ими функциях. При первоначальном изучении электрической схемы блочное ее построение позволяет получить общую картину прохождения и преобразования электрического тока.

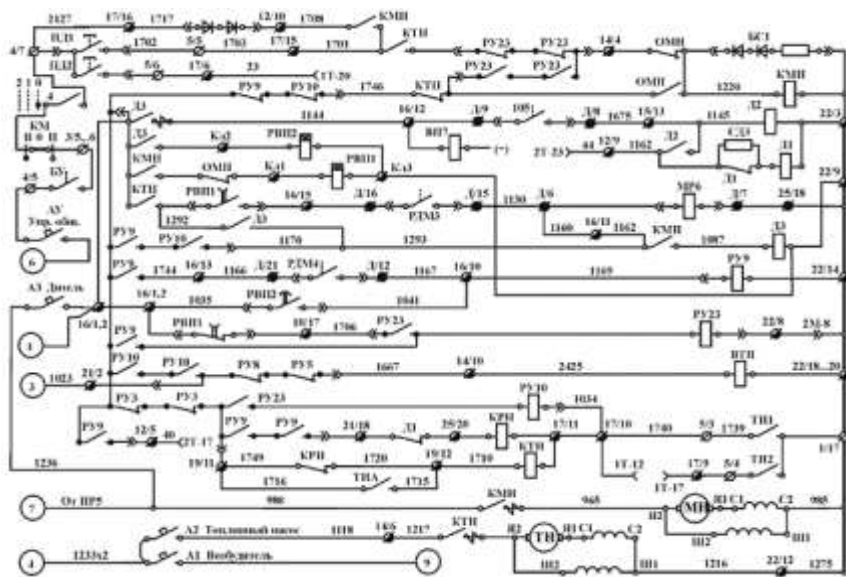


Рисунок 2.8 – Развернутая схема цепей управления тепловоз

В качестве примера рассмотрим блок-схему блока управления возбуждением типа БА-520 тепловоза 2ТЭ116 (рисунок 2.9).

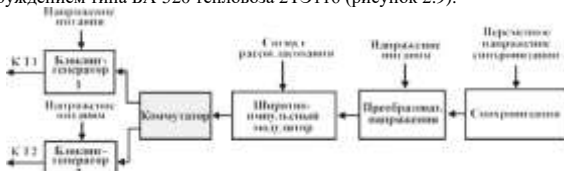


Рисунок 2.9 – Блок-схема блока управления возбуждением БА-520

Блок-схема блока БА-520 содержит следующие функциональные узлы - блок синхронизации, ведомый преобразователь напряжения, широтно-импульсный модулятор, коммутатора и двух блокинг-генераторов. Входное напряжение переменного тока с обмотки распределительного трансформатора подается в синхронизирующую цепь, осуществляющую переключение транзисторов преобразователя напряжения синхронно с частотой напряжения питания. Преобразователь напряжения питает широтно-импульсный модулятор, который через коммутатор запускает поочередно блокинг-генераторы, формирующие импульсы напряжения заданной длительности. Импульсы с блокинг-генераторов подаются в цепи управления тиристорами управляемого выпрямителя возбуждения. Фаза импульсов управления относительно напряжения синхронизации определяется сигналом рассогласования от селективного узла и блока задания возбуждения.

Уяснение блок-схемы облегчает переход к более подробному изучению узлов, объединенных в блоки. Блочное изображение применяют и тогда, когда не хотят подробно показывать какой-либо сложный узел или устройство, чтобы не усложнять чертежа. Например, в схеме электровоза с полупроводниковыми выпрямительными установками условно их изображают в виде блоков. Эти устройства сами по себе сложны и их схемы приведены на отдельных чертежах.

Многолинейные схемы, как следует из названия, представляют собой такие, на которых каждые провод или фаза изображены линией связи. В электрических схемах локомотивов и электропоездов применяется многолинейное изображение цепей.

Очень часто в многолинейных схемах электровозов в качестве обратного (минусового) провода используют корпус локомотива. В таких случаях на схемах вычерчивают только питающие провода, которые после

соединения обмоток и контактов аппаратов заземляют, т. е. присоединяют к корпусу (каркасу панели, на которой смонтирован аппарат). Обратные цепи тока на таких схемах не показывают, следует подразумевать, что они находятся между заземленными проводами схемы и заземленным отрицательным полюсом источника питания (рисунок 2.10).

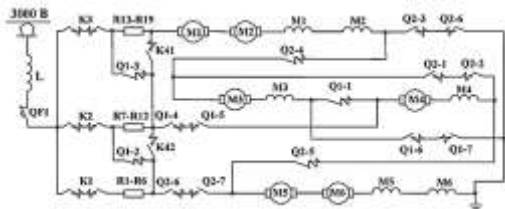


Рисунок 2.10 – Однопроводная электрическая схема электровоза ВЛ15

В электрической схеме тепловоза в качестве обратного провода используют специальную минусовую цепь, представляющую целый комплекс проводов. Однако на электрических схемах тепловозов минусовые цепи изображаются в виде одного общего провода (рисунок 2.11).

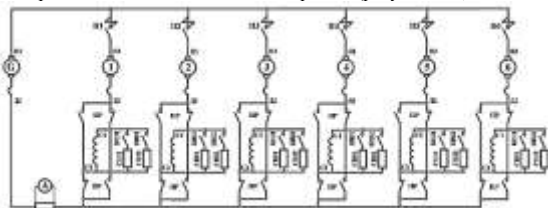


Рисунок 2.11 – Двухпроводная электрическая схема тепловоза М62

2.5 Схемы различных цепей

Силовые схемы локомотивов и электропоездов являются изображением цепей, тяговых электродвигателей и вспомогательных машин, и устройств. В силовые цепи тяговых двигателей на тепловозах входят также главные генераторы, а на электровозах переменного тока - вторичные обмотки понижающих трансформаторов, выпрямительная установка и т.д. Вспомогательные обмотки силовых трансформаторов относятся к силовым цепям вспомогательных машин и устройств (рисунок 2.12).

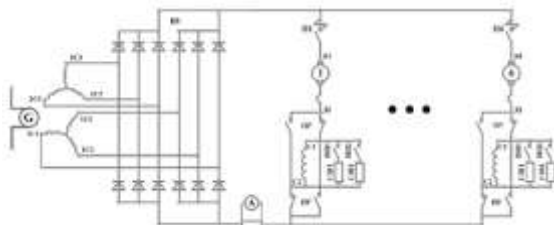


Рисунок 2.12 – Фрагмент силовой схемы тепловоза 2ТЭ116

В силовых схемах электровозов переменного тока обычно выделяют высоковольтную цепь напряжением 25 кВ, состоящую из первичной (высоковольтной) обмотки силового трансформатора и аппаратов, включенных в цепь этой обмотки.

Схемы цепей управления включают в себя цепи управления тяговыми двигателями, вспомогательными машинами и устройствами, электрическими аппаратами. К ним же относят схемы цепей сигнализаций и освещения. Схемы, изображающие электрические цепи отдельных машин и аппаратов или отдельных узлов общей цепи, называют элементными, так как они представляют собой элемент общей схемы. Чтобы понять общую схему локомотива, нужно внимательно изучить схемы ее характерных узлов и цепей. Сложные схемы усваиваются значительно легче, если их рассматривать как взаимосвязанный комплекс отдельных элементных схем (рисунок 2.13).

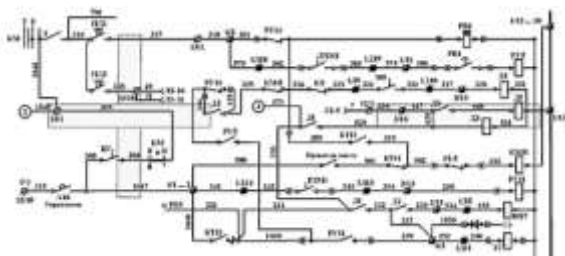


Рисунок 2.13 – Фрагмент цепей управления тепловоза

Важное значение при изучении схем имеют так называемые развертки и диаграммы включения групповых аппаратов, изображающие аппарат в развернутом в плоскости чертежа виде. Порядок включения силовых и блокировочных контактов группового аппарата определяется конфигурацией кулачковых шайб, включающих или выключающих контакторные элементы. На чертежах условно показывают развернутые профили шайб, а также обычно изображают и контакты, включаемые этими шайбами. Зачерненная полоса на диаграмме рисунок соответствует углу поворота кулачкового вала, в пределах которого данный контактор замкнут. Фиксированным позициям аппарата соответствуют вертикальные линии (рисунок 2.14).

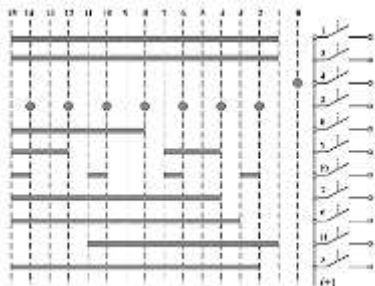


Рисунок 2.14 – Развертка контроллера тепловоза 2ТЭ116

Чтобы определить, какие контакты замкнуты на какой-либо позиции, необходимо совместить линию, проходящую по оси контактов, с линией, соответствующей рассматриваемой фиксированной позиции. Мысленно передвигая линию по позициям (или наоборот, надвигая развертку на контакты), можно легко определить последовательность и продолжительности включения каждого контакта.

Вместо диаграммы замыкания контактов можно воспользоваться таблицами замыкания, которые, как и диаграммы, показывают последовательность включения электрических аппаратов.

Срабатывание реле и контакторов тепловоза 2ТЭ116 на различных позициях контроллера машиниста приведено в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Срабатывание реле и контакторов тепловоза 2ТЭ116 на различных позициях контроллера машиниста

№ позии. КМ	Наименование электрических аппаратов										
	КН	МР4	МР1	МР2	МР3	РУ8	РУ10	РВ3	РУ5	ВВ	КВ
0	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
1	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
2	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+
3	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+
4	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+
5	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+
6	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
7	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
8	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
9	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
10	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
11	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+
12	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
13	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
15	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. В таблице знаком "+" обозначено включенное состояние аппарата, а знаком "-" - выключенное.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время на железных дорогах Российской Федерации и Республики Беларусь наметилась тенденция замены морально устаревших тепловозов серий 2ТЭ10, 2М62, ЧМЭЗ, ТЭП60 и т. п. тепловозами нового поколения 2ТЭ70, 2ТЭ25К, 2ТЭ25А, ТЭП70БС и др.

Отличительной особенностью этих тепловозов является использование микропроцессорных систем управления, регулирования и диагностики различных систем. Параллельно в Российской Федерации интенсивно идет процесс модернизации старых тепловозов системой унифицированной тепловозной автоматики (УСТА), которая представляет собой специализированное микропроцессорное устройство для регулирования возбуждения тягового и вспомогательного генераторов. Тяговый подвижной состав оборудуется системами обеспечения безопасности движения нового поколения (КЛУБ-У).

Несмотря на уменьшение перечня контактных коммутационных аппаратов, применяемых на современных тепловозах, за счет применения микропроцессорных систем управления и силовых полупроводниковых устройств, полный отказ от применения реле и контакторов вряд ли возможен. Поэтому рассмотренные в пособии основы физических процессов, протекающих при работе контактных соединений различных типов и коммутационных аппаратов, не потеряют актуальность при дальнейшем совершенствовании электрооборудования тепловозов и изменении элементной базы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Алиев, И. И.** Электрические аппараты : справочник / И. И. Алиев, М. Б. Абрамов. - М. : РадиоСофт, 2005. - 256 с. - ISBN 5-93037-115-6.
- 2 **Александров, К. К.** Электротехнические чертежи и схемы : производит. изд. / К. К. Александров, Е. Г. Кузьмина. - М. : Энергоатомиздат, 1990. - 288 с.
- 3 **Родштейн, Л. А.** Электрические аппараты : учеб. для техникумов. / Л. А. Родштейн. - 4-е изд., перераб. и доп. - Л. : Энергоатомиздат, 1989. - 304 с. - ISBN 5-283-04389-4.
- 4 **Скрежендевский, В. В.** Электрооборудование тепловозов : учеб.- метод. пособие по выполнению расчетно-графических работ № 1, 2 / В. В. Скрежендевский ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. - Гомель : БелГУТ, 2007. - 43 с. - ISBN 978-985-468-246-4.
- 5 Электрические машины и электрооборудование тепловозов : учеб. пособие для учебных заведений ж.-д. трансп. / Е. Я. Гаккель [и др.] ; под ред. Е. Я. Гаккель ; Всесоюз. издат.-полиграфич. объединение МПС. - М. : Трансжелдориздат, 1960. - 218 с.
- 6 **Кабардин, О. Ф.** Физика : справ. материалы : учеб. пособие для учащихся / О. Ф. Кабардин. - М. : Просвещение, 1991. - 367 с. - ISBN 5-09-003008-1.
- 7 Политехнический словарь / редкол. : А. Ю. Ишлинский (гл. ред.) [и др.]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Большая Российская энциклопедия, 1998. - 656 с. - ISBN 5-85270-264-1.
- 8 Электрооборудование тепловозов : справ. / В. Е. Верхогляд [и др.] ; под ред. В. С. Марченко. - М. : Транспорт, 1981. - 287 с.
- 9 **Волосатов, В. А.** Элементы пневмопривода : в помощь рабочему-изобретателю и рационализатору / В. А. Волосатов. - Л. : Лениздат, 1975. - 136 с.
- 10 **Схиртладзе, А. Г.** Гидравлические и пневматические системы : учеб. для сред. проф. учеб. заведений / А. Г. Схиртладзе, В. И. Иванов, В. Н. Кареев ; под ред. Ю. М. Соломенцева. - М. : Высш. шк., 2006. - 534 с. - ISBN 5-06-004451-1.
- 11 **Холзунов, А. Г.** Основы расчета пневматических приводов / А. Г. Холзунов. - М.-Л. : Машиностроение, 1964. - 268 с.
- 12 **Митин, Г. П.** Условные обозначения в отечественных и зарубежных электрических схемах / Г. П. Митин. - М. : Изумруд, 2003. - 224 с. - ISBN 5-98131-003-0.
- 13 **ГОСТ 2.105-95.** Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. - Введ. 1996-07-01. - Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Минск : Изд-во стандартов, 1995. - 36 с.
- 14 **ГОСТ 2.723-68.** Обозначения условные графические в схемах Введ. 1968-08-13. - М. Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР
- 15 **ГОСТ 2.723-62.** Обозначения условные графические в схемах

Введ. 1962-07-21. – М. Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР

16 **ГОСТ 2.722-68** Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические Введ. 1968-08-13. – М. Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР

17 **ГОСТ 2.414-75** Обозначения условные графические в схемах. Правила выполнения чертежей жгутов, кабелей и проводов Введ. 1975-11-26. – М. Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР