

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Тепловозы и тепловые двигатели»

В. В. СКРЕЖЕНДЕВСКИЙ

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЗОВ

Учебно-методическое пособие

Часть I

*Одобрено методическими комиссиями механического
факультета и факультета безотрывного обучения*

Гомель 2008

УДК 629.424.4(075.8)

ББК 39.16

С45

Р е ц е н з е н т – зав. кафедрой «Локомотивы и локомотивное хозяйство» д-р техн. наук, профессор В. И. Киселев (УО «МГУПС»).

Скрежендевский, В. В .

С45 Электрооборудование тепловозов : учеб.-метод. пособие. В 4 ч. Ч. I / В. В. Скрежендевский ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 70 с.
ISBN 978-985-468-391-1 (ч.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

© Скрежендевский В. В., 2008

© Оформление. УО “БелГУТ”, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Общие сведения об электрических аппаратах и схемах тепловозов.....	6
1.1 Классификация электрических аппаратов и условия их работы на тепловозе.....	6
1.2 Классификация электрических схем.....	8
2 Электрические контакты.....	12
2.1 Разновидности электрических контактов.....	12
2.2 Условия работы контактов.....	17
2.3 Расчет контактов.....	21
3 Основы теории горения и гашения электрической дуги в аппаратах коммутации.....	24
3.1 Условия возникновения и горения электрической дуги.....	24
3.2 Способы гашения электрической дуги.....	25
3.3 Методы повышения коммутационной стойкости контактов реле управления.....	29
4 Электромагнитные механизмы.....	35
4.1 Классификация электромагнитов.....	35
4.2 Электромагнитные реле времени.....	36
5 Электропневматические механизмы.....	40
5.1 Расчет поршневого пневмопривода.....	41
5.2 Расчет диафрагменного пневмопривода.....	42
6 Практикум.....	44
Указания по безопасности.....	44
Лабораторная работа № 1 Электромагнитные реле управления.....	45
Лабораторная работа № 2 Специальные тепловозные электромагнитные реле.....	48
Заключение.....	51
Список литературы.....	52
Приложение А Наиболее употребительные условные графические обозначения элементов тепловозных электрических принципиальных схем.....	54
Приложение Б Техническая характеристика реле РД-3010.....	60
Приложение В Некоторые требования к оформлению текстовых документов по ГОСТ 2.105-95.....	61
Приложение Г Рабочая программа по дисциплине «Электрооборудование тепловозов».....	63

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 тиристоров. 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 ТЭП70 (передача мощности переменного-постоянного тока). Теоретические сведения, как правило, подкрепляются примерами использования технических решений на тепловозах этих серий.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТАХ И СХЕМАХ ТЕПЛОВЗОВ

1.1 Классификация электрических аппаратов и условия их работы на тепловозе

Электрическими аппаратами (ЭА) называют электротехнические устройства для управления потоками энергии и информации, режимами работы, контроля и защиты технических систем и их компонентов [1].

На тепловозах используют широкий диапазон разновидностей ЭА, которые можно классифицировать по различным признакам: по рабочему напряжению, рабочему или коммутируемому току, роду тока, выполняемой функции, признаку коммутации и элементной базы.

По величине рабочего напряжения различают низковольтные и высоковольтные ЭА. Согласно [1] в энергетике принято относить к низковольтным электрические аппараты с рабочим напряжением до 1000 В, а к высоковольтным – с рабочим напряжением более 1000 В. В то же время в специальной литературе по тепловозам к низковольтным ЭА тепловозов принято относить аппараты, которые используются в цепях, получающих питание от аккумуляторной батареи и (или) вспомогательного генератора (напряжение от 75 до 110 В), к высоковольтным – ЭА тяговой цепи (максимальное напряжение от 750 до 1000 В). При дальнейшем изложении материала автор будет придерживаться терминологии, устоявшейся в специальной литературе по тепловозам.

По величине рабочего или коммутируемого тока различают слаботочные аппараты (максимальный ток от 5 до 10 А) и силовоточные (от 10 А до тысяч ампер). Слаботочные

коммутационные ЭА принято называть реле, а сильноточные – контакторами.

По роду тока ЭА подразделяют на аппараты постоянного и переменного тока.

По выполняемой функции ЭА тепловозов можно разделить:

- на коммутирующие аппараты: контакторы, рубильник аккумуляторной батареи;

- командные аппараты: кнопочные выключатели, тумблеры, контроллер машиниста;

- электроизмерительные приборы: вольтметры, амперметры, электроманометры и -термометры и т. п.;

- аппараты управления и сигнализации: реле управления, магнитные усилители, индуктивный датчик, концевые выключатели, светотехнические изделия и т. п.;

- аппараты защиты: плавкие предохранители, автоматические выключатели, неэлектрические реле (реле давления, термореле и т. п.).

По признаку коммутации и элементной базы ЭА тепловозов разделяются:

- на электромеханические, которые имеют подвижные элементы конструкции, например, подвижную и неподвижную контактные системы (реле, контакторы, индуктивный датчик и т. п.);

- статические, которые выполняются на основе магнитных усилителей, насыщающихся трансформаторов (амплистат возбуждения, тахометрический блок и т. п.), а также силовых полупроводниковых приборов (бесконтактный регулятор напряжения вспомогательного генератора, управляемый выпрямитель возбуждения и т. п.);

- гибридные, которые представляют собой комбинацию электромеханических и статических аппаратов, например, реле времени ВЛ-50.

Условия работы ЭА тепловозов отличаются особенностями:

- повышенная вибрация;

- повышенная влажность;

- значительные колебания температур;

- контакт с горюче-смазочными материалами;

- воздействие электропроводной пыли.

Для обеспечения надежной работы в условиях вибрации применяют балансировку подвижных частей ЭА, используют гибкие

провода или повышают жесткость токоведущих элементов путем дополнительного крепления, устанавливают ЭА на амортизаторах. Для уменьшения вредного воздействия агрессивной среды используют защитные лакокрасочные и химические покрытия для металлических деталей, а обмотки ЭА пропитывают лаком и заливают эпоксидным компаундом.

1.2 Классификация электрических схем

Электрическая схема – конструкторский документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части электрической системы и связи между ними.

Электрические схемы бывают:

- структурные;
- функциональные;
- принципиальные;
- соединений;
- подключения;
- общие;
- схемы обмоток и изделий с обмотками.

Схемы структурные определяют основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Эти схемы служат для общего ознакомления с объектом. На структурной схеме раскрывается не принцип работы отдельных функциональных частей объекта, а только взаимодействие между ними. Поэтому составные части объекта изображают упрощенно в форме прямоугольников. Допускается применять условные графические обозначения. Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в объекте. На линиях взаимодействия рекомендуется стрелками обозначать направления хода процессов, происходящих в объекте.

Схемы функциональные разъясняют определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия или в объекте в целом. Этими схемами пользуются для изучения принципов работы объекта, а также при их наладке, контроле, ремонте.

Функциональная схема по сравнению со структурной более подробно раскрывает функции отдельных элементов и устройств.

Функциональные части и связи между ними на схеме изображают в виде условных графических обозначений. Отдельные функциональные части допускается изображать в виде прямоугольников. Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности процессов, иллюстрируемых схемой. Функциональные схемы применяются, как правило, совместно с принципиальными, поэтому буквенно-цифровые обозначения элементов и устройств на этих документах должны быть одинаковыми.

Схема электрическая принципиальная определяет полный состав элементов объекта и дает детальное представление о его принципе работы. Принципиальная схема служит основой для разработки других конструкторских документов – схемы соединений и расположения, чертежей конструкции объекта – и является наиболее полным документом для изучения принципа его работы. На принципиальной схеме изображают все электрические элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля в объекте заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи (разъемы, зажимы и т. п.). Элементы изображают в виде условных графических обозначений, установленных техническими нормативными правовыми актами (ТНПА).

Схема соединений показывает соединения составных частей изделия между собой и определяет провода, жгуты, кабели, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединения и ввода (зажимы, соединители). На схеме соединений должны быть изображены все устройства и элементы, входящие в состав объекта, их входные и выходные элементы (разъемы, платы, зажимы и т. п.), а также соединения между этими устройствами и элементами. Например, схема соединения пульта управления с высоковольтной камерой, схема соединений секций тепловозов.

Схема подключения показывает внешние подключения объекта. На схеме должны быть изображены объект, его входные и выходные элементы (разъемы, зажимы и т. п.) и подводимые к ним концы проводов и кабелей внешнего монтажа, указаны данные о подключении изделия (характеристики внешних цепей, адреса). Объект изображают в виде прямоугольника или внешних очертаний,

входные и выходные элементы – в виде условных графических обозначений или внешних очертаний. Например, схема подключения электродвигателя топливного насоса, схема подключения выпрямительной установки.

Схема общая определяет составные части комплекса и соединение их между собой, используется при монтаже и наладке, а также при проектировании. На общей схеме изображают устройства и элементы, входящие в комплекс, прямоугольниками, условными графическими обозначениями или внешними очертаниями и соединяющие их провода, жгуты и кабели. Входные, выходные и вводные элементы изображают в виде условных графических обозначений или таблиц. Расположение графических обозначений устройств и элементов на схеме должно примерно соответствовать действительному их размещению [2].

В свою очередь, электрические схемы тепловозов по своему функциональному назначению можно классифицировать на схемы [3]:

- силовые;
- автоматического регулирования возбуждением тягового генератора;
- управления;
- защиты;
- вспомогательные.

В **силовую цепь** тепловоза входят электрические машины: тяговый генератор (ТГ), тяговые электродвигатели (ТЭД); электрические аппараты: поездные контакторы (П), реверсор (ПР), групповые контакторы ослабления возбуждения ТЭД (ВШ), при наличии электродинамического тормоза – тормозной переключатель (ТП) и тормозные резисторы. При использовании передачи мощности переменного-постоянного тока к данному перечню следует добавить выпрямительную установку (ВУ).

К **схеме автоматического регулирования возбуждением тягового генератора** при передаче мощности постоянного тока можно отнести электрические машины: синхронный подвозбудитель (СПВ), возбудитель (В); бесконтактные аппараты: трансформаторы постоянного тока (ТПТ) и напряжения (ТПН), амплистат возбуждения (АВ), тахометрический блок (БТ), индуктивный датчик (ИД); селективный узел (СУ). Аналогично для тепловоза с передачей мощности переменного-постоянного тока: синхронный возбудитель

(СВ); силовой электронный блок – управляемый выпрямитель возбуждения тягового генератора (УВВ); бесконтактные аппараты: ТПТ и ТПН, БТ, ИД; блок управления возбуждением (БУВ) и СУ.

К **схемам управления** относятся схемы управления автоматическим запуском дизеля, приведения тепловоза в движение (трогание), управления электродинамическим тормозом, управления охлаждающим устройством и т. п.

Схемы защиты обеспечивают защиту дизеля тепловоза от пониженного давления масла и превышения допустимых температур воды и масла, защиту тяговой цепи, тяговых электрических машин и выпрямительной установки от аварийных режимов, а также предотвращают развитие буксования колесных пар тепловоза.

К **вспомогательным электрическим цепям** относятся схемы: заряда аккумуляторной батареи, питания вспомогательных электродвигателей, освещения, пожарной сигнализации, измерительных приборов и т. п.

Наиболее употребительные условные графические обозначения элементов тепловозных электрических принципиальных схем приведены в приложении А.

2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

2.1 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].

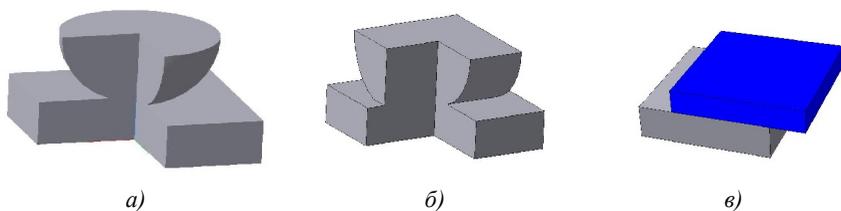
Разборные контакты – это те, у которых в процессе работы детали не перемещаются относительно друг друга. Например, болтовое соединение токоведущих шин, присоединение проводников к колодкам зажимов и т. п. На тепловозах контакты этого типа применяются для соединения как силовых электрических машин и аппаратов, 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 2.1).

Точечный – соприкосновение контактных поверхностей происходит только в одной площадке малого радиуса – точке (см. рисунок 2.1, *а*). 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 – точечный; *б* – линейный; *в* – поверхностный

Рисунок 2.1 – Разновидности контактов по форме контактных поверхностей

Линейный – соприкосновение контактных поверхностей происходит по узкой полоске (см. рисунок 2.1, *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 2.1, *в*). Эти контакты преимущественно используются для разборных контактных соединений.

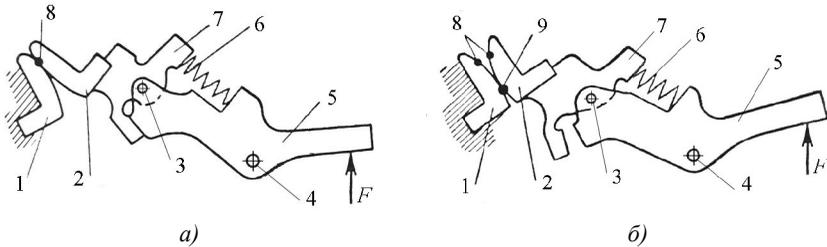
По конструктивному исполнению контакты могут быть подразделены на рычажные, мостиковые и врубные [4].

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 2.2 [6]. 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 смещенной по отношению к точке 9 конечного соприкосновения контактов при полностью включенном контакторе.



a – 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 2.2 – Притирка контактов поездного контактора

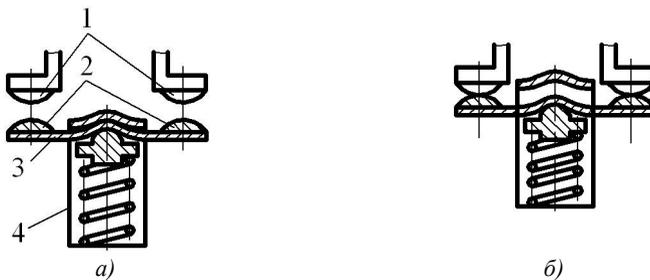
При отключении контактора описанный процесс происходит в обратном порядке, в результате электрическая дуга возникает в точке 8, которая достаточно удалена от точки 9, то есть рабочая контактная поверхность не подвергается дуговому износу. Проскальзывание контактов при достаточном контактном нажатии приводит 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 [4]. 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. Этому недостатка лишены мостиковые контакты.

Мостиковые контакты (рисунок 2.3) 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) [4].



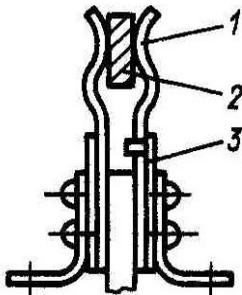
a – выключенное состояние контактов; *б* – контакт полностью включен; 1 – неподвижные контакты; 2 – подвижные контакты; 3 – мостик; 4 – деталь механического привода

Рисунок 2.3 – Мостиковые контакты

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 2.4. 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 [4].

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.



1 – неподвижная контактная стойка; 2 – подвижный контактный нож; 3 – стальные пружины

Рисунок 2.4 – Врубной контакт

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 [4]. 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 [4].

2.2 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.

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.

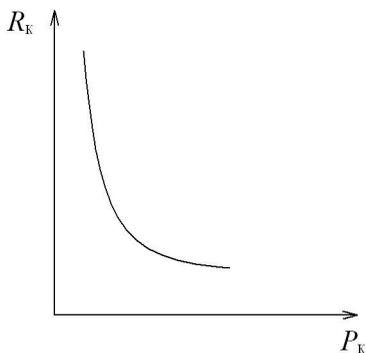


Рисунок 2.5 – Зависимость переходного сопротивления контакта от нажатия [4]

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_k более 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 серебрясодержащей 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 [4].

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 [4].

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

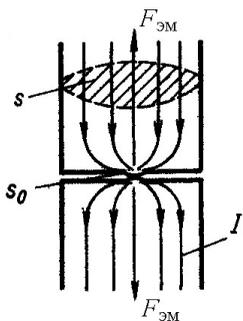
При размыкании сила, сжимающая контакты, снижается до нуля, резко возрастают переходное сопротивление контакта и плотность тока в последней площадке контактирования. Площадка сильно разогревается, и между расходящимися контактами образуется контактный перешеек из расплавленного металла, который в дальнейшем 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 [4].

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) [4].

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. Свойства электрической дуги, влияние на нее различных факторов и способы ее гашения будут подробно рассмотрены в 3-м разделе.

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 [4].



$F_{ЭМ}$ – электродинамическая сила; s – сечение контакта в том месте, где нет искривлений линий тока; s_0 – действительная площадь контактирования; I – линии тока

Рисунок 2.6 – Кривые линий тока при одноточечном контакте [4]

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 2.6.

На рисунке хорошо видно, что в приповерхностной зоне контактов направление токов противоположно. То есть, как и в известном из

курса физики опыте Андре Ампера [7], два проводника с различным направлением токов отталкиваются.

При коротких замыканиях возникают весьма тяжелые условия работы как для разборных, так и для коммутирующих 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].

2.3 Расчет контактов

Размеры площадок контактирования пропорциональны контактному нажатию, сжимающему детали, и зависят от сопротивления смятию материала деталей. Если две детали контактируют в одной площадке, то ее площадь в первом

приближении

$$s_0 = \frac{P_k}{\sigma_{см}}, \quad (2.1)$$

где P_k – контактное нажатие, Н;

$\sigma_{см}$ – временное сопротивление материала смятию, Па.

На основании опытных данных **значение переходного сопротивления** определяется выражением

$$R_k = \frac{\varepsilon}{P_k^n}, \quad (2.2)$$

где ε – величина, зависящая от материала и формы контакта, способа обработки и состояния контактной поверхности, Ом/Н^{0,5};

n – показатель степени, характеризующий число точек соприкосновения. Для односточечного контакта – 0,5; линейного контакта – от 0,7 до 0,8; поверхностного – 1,0.

Значение величины ε зависит от состояния поверхности контактов, характера их обработки и особенно от степени окисления. Для свежих, не окисленных односточечных контактов, подвергнутых механической обработке с окончательной обработкой личным напильником и смазкой вазелином, ориентировочные значения ε приведены в таблице 2.1 [4].

Таблица 2.1 – Значения коэффициента ε

Металл	Медь	Серебро	Олово	Алюминий	Сталь
ε , Ом/Н ^{0,5}	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$76 \cdot 10^{-3}$

Превышение температуры площадки контактирования над температурой теплоотдающей поверхности контакта

$$\tau_k = \frac{U_k^2}{8\lambda\rho}, \quad (2.3)$$

где U_k – падение напряжения на переходном сопротивлении контактов, В;

λ – коэффициент теплопроводности материала контакта, Вт/(м·°С);

ρ – удельное сопротивление материала контакта, Ом·м.

При естественном охлаждении падение напряжения в переходном сопротивлении контакта при номинальном токе обычно от 10 до 20 мВ [4].

Упрощенный расчет величины контактного нажатия осуществляется с помощью эмпирического коэффициента по формуле [5]

$$P_k = \frac{I_k}{K_{кн}}, \quad (2.4)$$

где I_k – номинальный ток контактов, А;

$K_{кн}$ – коэффициент контактного нажатия, принимается в пределах от 4 до 6 А/Н.

Как упоминалось выше, при коротком замыкании происходит не только резкое увеличение тока, но и увеличение переходного сопротивления контакта из-за ослабления контактного нажатия, вызываемого электродинамическими силами. Когда электродинамические силы равны контактному нажатию или превосходят его, происходит отброс контактов. Возникающая при отбросе контактов электрическая дуга вызывает большое оплавление рабочих поверхностей и их сваривание при замыкании.

Короткое замыкание (КЗ) характеризуется **ударным током КЗ** – наибольшим мгновенным значением силы тока в электрической цепи при возникновении КЗ. Для определения минимального значения ударного тока КЗ, при котором происходит сваривание контактов, можно пользоваться опытной формулой [4]

$$I_{кз} \leq K \sqrt{10 P_k}, \quad (2.5)$$

где K – коэффициент, зависящий от материала контактов и числа точек соприкосновения, А/Н^{0,5}.

Значение K для медных контактов в зависимости от типа контакта лежит в пределах от 400 до 600 А/Н^{0,5}. Причем меньшие значения принимают для рычажных контактов, а большие – для розеточных.

3 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ГОРЕНИЯ И ГАШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В АППАРАТАХ КОММУТАЦИИ

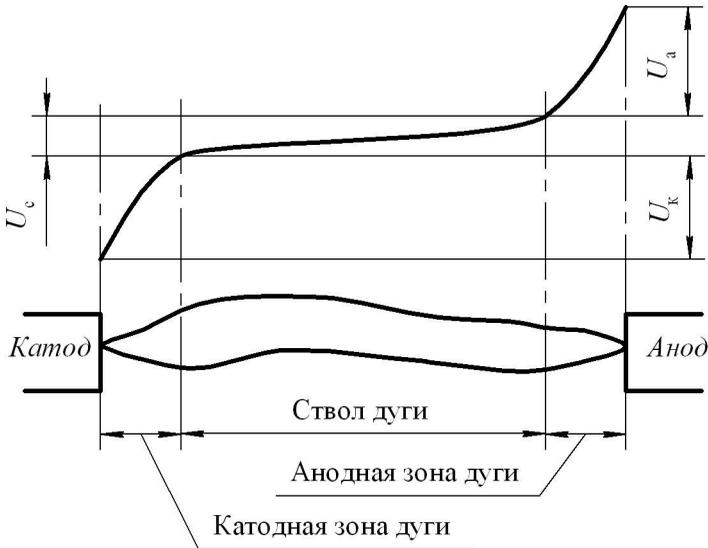
3.1 Условия возникновения и горения электрической дуги

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 [8].

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 3.1 видно, что основное падение напряжения приходится на катодную и анодную зоны дуги (в сумме от 15 до 30 В). Падение напряжения на стволе 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

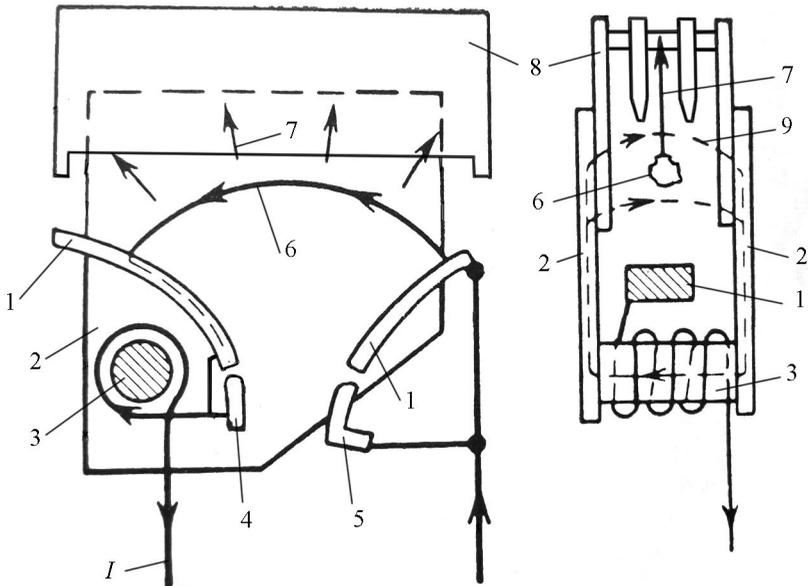
Рисунок 3.1 – Распределение падения напряжения вдоль электрической дуги [4]

3.2 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 ствола дуги из промежутка между контактами под воздействием внешнего магнитного поля. Схема магнитного дутья поездного контактора показана на рисунке 3.2.



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 ствола дуги; 8 — дугогасительная камера; 9 — направление силовых магнитных линий поля, создаваемого дугогасительной катушкой

Рисунок 3.2 – 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 – асбоцемента. 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.

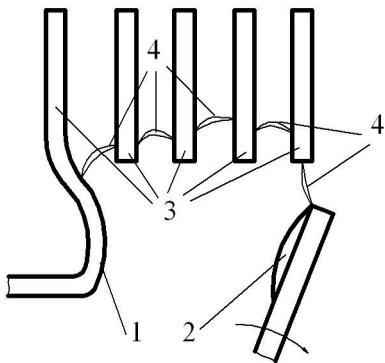
На некоторых ЭА, например, контакторах ТКПМ дугогасительная камера состоит из двух деталей сложной формы, которые образуют сужающуюся зигзагообразную щель. Извилистая форма щели позволяет в меньших габаритах получить более длинную дугу и ускорить ее гашение.

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 разбиении 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 3.3. 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.



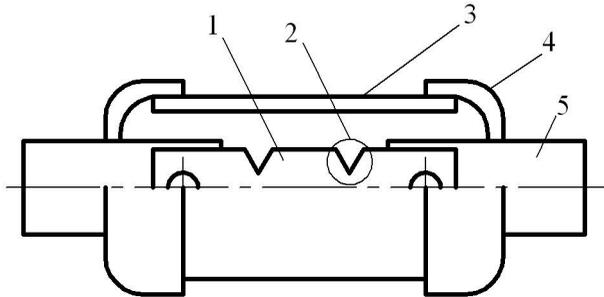
1 – неподвижный контакт; 2 – подвижный контакт; 3 – пластины дугогасительной решетки; 4 – электрическая дуга

Рисунок 3.3 – Схема дугогасительной решетки [4]

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 клиновые вырезы 2, показанные на рисунке 3.4.



1 – плавкая вставка; 2 – клиновидный вырез; 3 – трубка;
4 – крышка; 5 – втулочный контакт

Рисунок 3.4 – Устройство трубчатого предохранителя (с упрощениями)

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

3.3 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 3.5 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 $I_{ДЗ}$ начинает быстро уменьшаться и соответственно уменьшается магнитный поток Φ , с которым ЭДС самоиндукции e_L связана зависимостью

$$e_L = -\omega \frac{d\Phi}{dt}, \quad (3.1)$$

где ω – число витков в катушке электромагнита;

Φ – магнитный поток, Вб.

При любом изменении магнитного потока, в том числе и при уменьшении, производная магнитного потока по времени $\frac{d\Phi}{dt}$ не равна нулю. Чем быстрее происходит уменьшение магнитного потока, тем больше величина $\frac{d\Phi}{dt}$ и больше значение ЭДС самоиндукции e_L . Осциллограмма напряжения между точками a и b (см. рисунок 3.5) без коммутационной цепочки при размыкании контакта Д1 показана на рисунке 3.6, a .

На рисунке хорошо видно, что значение e_L^{\max} в несколько раз превышает значение напряжения питания. Этот импульс (амплитудой несколько сотен вольт) вызывает искру между контактами, разрывающими цепь индуктивной нагрузки. Анализ зависимости (3.1) показывает, что для уменьшения значения e_L^{\max} при разрыве цепи питания необходимо уменьшить скорость изменения магнитного потока или, соответственно, тока в индуктивной нагрузке (в нашем примере – $I_{ДЗ}$). Достичь этого можно с помощью коммутационной цепочки, состоящей из диодов Д25, Д26 и сопротивления Р23, причем диоды подсоединены так, чтобы при включенном питании катушки Д3 они были заперты, и ток по цепи Д25, Д26 и Р23 не протекал.

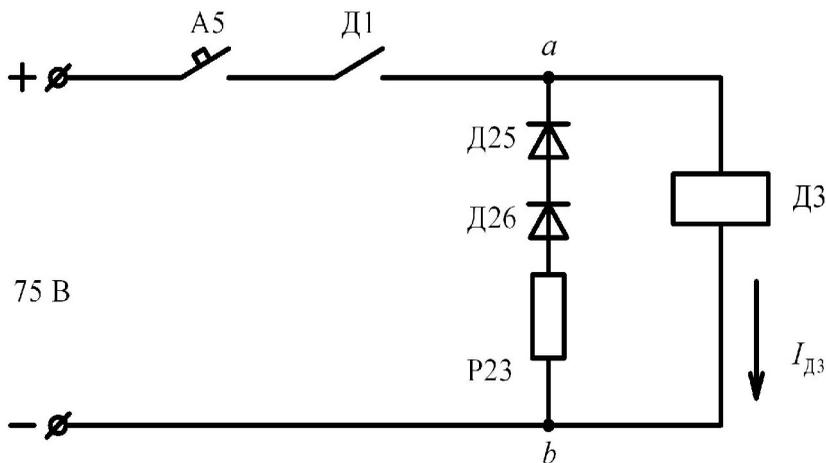
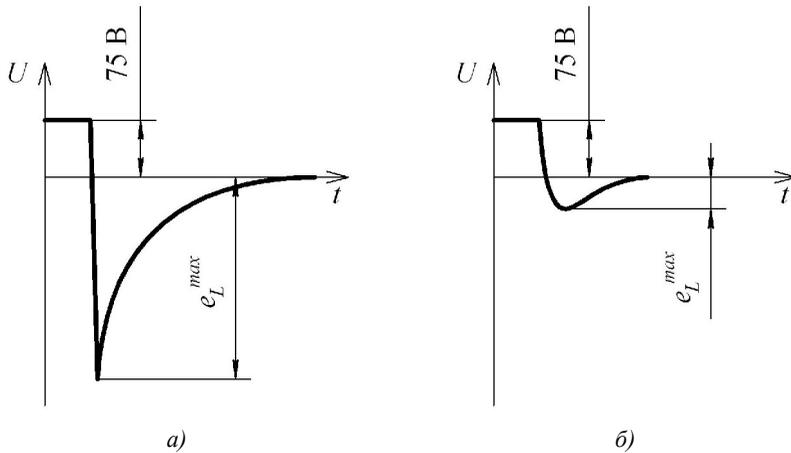


Рисунок 3.5 – Упрощенная схема цепи питания катушки пускового контактора Д3 тепловоза 2ТЭ10У

При отключении питания в результате возникновения ЭДС самоиндукции катушка Д3 сама становится источником питания, причем ее полярность направлена так, чтобы поддержать значение тока $I_{ДЗ}$, то есть плюс ЭДС самоиндукции приложен к точке b , а 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 3.6 – Осциллограммы переходных процессов при отключении индуктивной нагрузки

Обратите внимание на то, что при размыкании контакта Д1 направление тока в катушке ДЗ не изменяется, а полярность в точках *a* и *b* изменяется на противоположную. Это связано с тем, что, как уже говорилось, катушка ДЗ 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 правильном выборе параметров коммутационной цепочки e_L^{\max} 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.

Последовательное включение контактов совместно с коммутационной цепочкой используют в цепи питания катушек электропневматических вентилях поездных контакторов, упрощенная схема которой показана на рисунке 3.7.

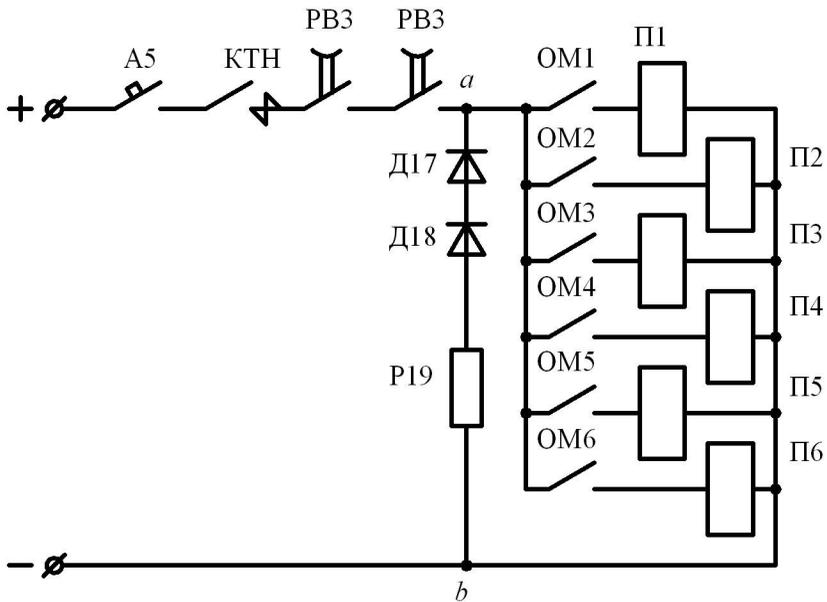


Рисунок 3.7 – Упрощенная схема цепи питания катушек электропневматических вентилях поездных контакторов П1–П6 тепловоза 2ТЭ10У

Комбинированная система защиты контактов применена в связи с большой суммарной индуктивностью включенных параллельно катушек П1–П6. Мостиковые контакты (см. подразд. 2.1) реле времени РВ3, включенные последовательно, при размыкании цепи питания П1–П6 обеспечивают четыре последовательных воздушных промежутка, что затрудняет возникновение электрического пробоя.

Схема с включением сопротивления параллельно коммутирующим контактам используется в цепи питания обмотки независимого возбуждения ОВ тягового генератора тепловозов 2ТЭ10М и 2М62 (рисунок 3.8). 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.

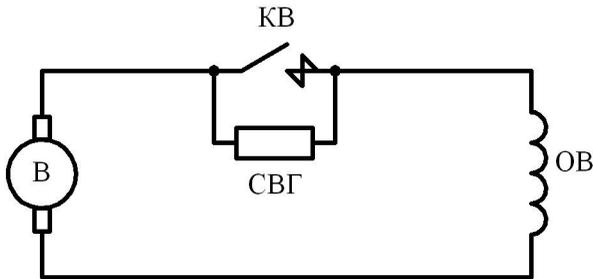


Рисунок 3.8 – Упрощенная схема цепи питания обмотки независимого возбуждения тягового генератора тепловозов 2ТЭ10М и 2М62

От последовательного включения с сопротивлением СВГ диода или конденсатора, как в других цепях отказались, так как одновременно с контактором 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.

4 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

4.1 Классификация электромагнитов

На тепловозах широко используются реле и контакторы с электромагнитным приводом. К таким ЭА относятся реле управления ТРПУ-1, Р-45, реле защиты РМ1000, реле перехода РД-3010, реле времени РЭВ-812, контакторы КПВ, МК, ТКПМ и др. Конструкция и технические характеристики тепловозных ЭА с электромагнитным приводом представлены в соответствующей литературе [9–12].

Принцип действия электромагнитного механизма основан на взаимодействии магнитного поля, создаваемого катушкой, с подвижной деталью из ферромагнитного материала – якоря. С якорем механически связаны подвижные контакты ЭА. **Подробно работа электромагнитного привода и его расчет рассмотрены в [5].**

Согласно предложенной в [4] классификации электромагниты тепловозных ЭА **по способу действия** могут быть отнесены к притягивающим, которые совершают определенную работу, притягивая якорь.

По способу включения реле управления относятся к электромагнитам с параллельной катушкой – ток в катушке определяется параметрами самого электромагнита и напряжением питания. Существуют электромагниты с последовательной катушкой, например, реле максимального тока, в которых катушка включается последовательно с другим электрическим устройством. В этом случае ток в катушке определяется не параметрами электромагнита, а теми устройствами (машины, аппараты), в цепь которых включена катушка.

По роду тока различают электромагниты постоянного и переменного тока.

По характеру движения якоря различают поворотные – якорь поворачивается вокруг какой-то оси или опоры, и прямоходовые –

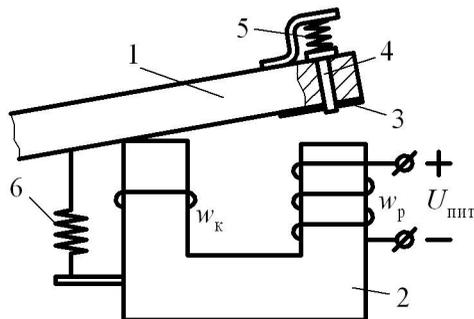
якорь перемещается поступательно. На тепловозах в основном применяются поворотные механизмы. Подробно работа поворотного электромагнитного привода и его расчет рассмотрены в [5].

4.2 Электромагнитные реле времени

Для замедления и ускорения действия электромагнитов в общем случае используют увеличение и уменьшение постоянной времени электрической цепи катушки электромагнита соответственно.

На тепловозах для получения выдержек времени при отключении продолжительностью от 1,5 до 3 с используют электромагнитное реле времени типа РЭВ-800.

Увеличение постоянной времени этого реле достигается с помощью короткозамкнутого витка, который обеспечивает выдержку времени при отключении. В литературе [9–12] короткозамкнутый виток принято называть демпфером. Конструкция электромагнитного реле времени с упрощениями показана на рисунке 4.1.



- w_k – короткозамкнутый виток; w_p – рабочая катушка;
 1 – якорь; 2 – магнитопровод; 3 – немагнитная прокладка; 4 – шток; 5 – отжимающая пружина; 6 – возвращающая пружина

Рисунок 4.1 – Электромагнитное реле времени

При подаче питания на рабочую катушку реле w_p в ней начинает протекать ток i_p и создается магнитное поле. Якорь 1 притягивается к наконечнику магнитопровода 2 – реле включается. При обесточивании

катушки w_p магнитный поток Φ_p быстро уменьшается. В соответствии с законом электромагнитной индукции в короткозамкнутом витке w_k наводится ЭДС

$$e_{w_k} = -\frac{d\Phi_p}{dt}. \quad (4.1)$$

В результате наведенной ЭДС e_{w_k} в короткозамкнутом витке начинает протекать ток i_k . Этот ток, в свою очередь, создает магнитный поток Φ_k , который удерживает якорь реле во включенном состоянии в течение времени t_b после отключения катушки w_p (рисунок 4.2).

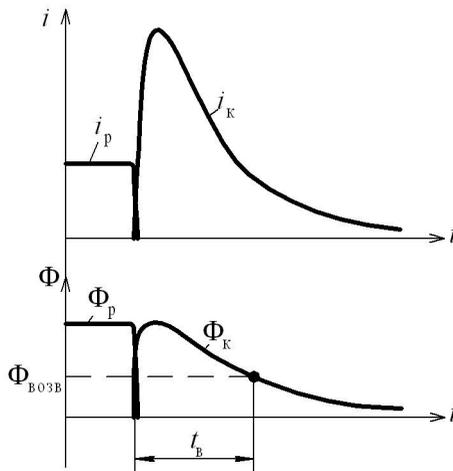


Рисунок 4.2 – Графики изменения токов i и магнитных потоков Φ при отключении электромагнитного реле времени

На рисунке 4.2 величина $\Phi_{\text{возв}}$ представляет собой магнитный поток, при котором электромагнитная сила уменьшается настолько, что под воздействием усилий возвращающей 6 и отжимающей 5 пружин происходит возврат якоря реле в исходное положение. Соответственно время t_b от момента отключения тока в рабочей катушке до момента возврата якоря в выключенное положение – время

выдержки реле. Уменьшение Φ_k происходит по экспоненциальному закону

$$\Phi_k(t) = \Phi_k^{\max} e^{-\frac{t}{T_k}}, \quad (4.2)$$

где Φ_k^{\max} – максимальное значение магнитного потока в момент отключения тока рабочей катушки, $\Phi_k^{\max} \approx \Phi_p$, Вб;

T_k – постоянная времени короткозамкнутого витка, с.

Постоянная времени короткозамкнутого витка

$$T_k = \frac{L_k}{R_k}, \quad (4.3)$$

где L_k – индуктивность короткозамкнутого витка, Гн;

R_k – активное сопротивление короткозамкнутого витка, Ом.

Очевидно, что время t_b , за которое $\Phi_k(t)$ достигнет значения $\Phi_{\text{возв}}$, зависит от величины постоянной времени T_k . Для увеличения времени выдержки реле необходимо уменьшать величину активного сопротивления R_k и увеличивать индуктивность короткозамкнутого витка L_k . Величина $\Phi_{\text{возв}}$ зависит от затяжек возвращающей и отжимающих пружин, толщины немагнитной прокладки 3, при помощи которых осуществляется регулировка выдержки времени реле. В качестве короткозамкнутого витка на реле РЭВ-800 используются алюминиевое основание, охватывающее магнитопровод и съемные демпферы, выполненные в виде толстостенных металлических трубок, которые также надеты на магнитопровод.

Значение максимального тока в короткозамкнутом витке достигает достаточно больших значений. Из условия $\Phi_k^{\max} \approx \Phi_p$ можно предположить примерное равенство магнитодвижущих сил

$$F_k^{\max} \approx F_p. \quad (4.4)$$

Величину магнитодвижущей силы рассчитывают по формуле

$$F = wI, \quad (4.5)$$

где w – число витков катушки;

I – ток в катушке, А.

На основании (4.4) и (4.5), с учетом принятых ранее обозначений можно записать:

$$w_k i_k^{\max} = w_p i_p, \quad (4.6)$$

где w_k , w_p – число витков в короткозамкнутом витке и рабочей катушке реле, соответственно.

Для того чтобы на выдержку времени реле существенно не влияло напряжение питания, рабочая точка (Р.Т.) магнитопровода реле находится в глубоком насыщении (рисунок 4.3).

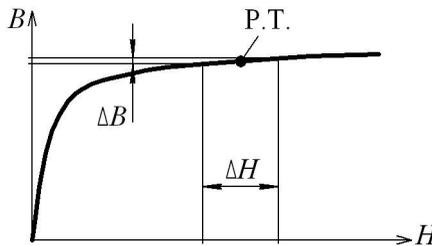


Рисунок 4.3 – Положение рабочей точки магнитопровода электромагнитного реле времени при номинальном напряжении питания

При колебаниях напряжения питания катушки электромагнита по закону Ома в ней меняется ток, из-за этого меняется магнитодвижущая сила F_p (формула (4.5)). Изменение магнитодвижущей силы приводит к изменению напряженности магнитного поля H в магнитопроводе. На рисунке 4.3 видно, из-за того что Р.Т. находится на пологой части кривой намагничивания магнитопровода, при существенном изменении напряженности магнитного поля в пределах ΔH индукция B практически не меняется, так что можно записать $\Delta B \approx 0$. Так как индукция через площадь поперечного сечения магнитопровода связана с магнитным потоком, то его изменение не превышает нескольких процентов при колебании напряжения питания катушки электромагнита в пределах от 20 до 30 %.

5 ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ

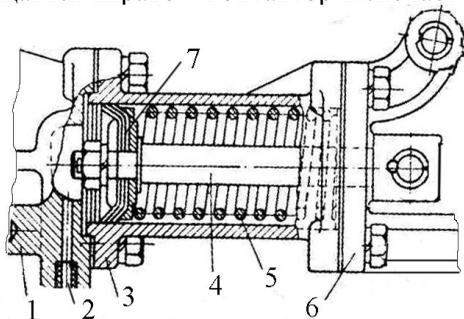
В качестве пневматического привода для коммутационных аппаратов на тепловозах применяют как поршневые двигатели, так и диафрагменные. Пневматический привод используется в коммутационных аппаратах тяговой цепи тепловоза, где необходимо создавать большие контактные нажатия и не требуется высокое быстродействие 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 [10, 11]. На тепловозах с передачей мощности переменного-постоянного тока наблюдается тенденция использования поршневого привода для всех силовых коммутационных аппаратов [12].

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 бóльшей 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 [13].

5.1 Расчет поршневого пневмопривода

Устройство пневмоцилиндра поездного контактора ПК-753 показано на рисунке 5.1. 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 5.1 – 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 [14].

Для определения диаметра пневмоцилиндра сначала необходимо рассчитать механическую характеристику контактора, например, по методике, изложенной в [5]. 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.

Диаметр пневмоцилиндра в метрах рассчитывают по формуле [14]

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi x p (1-k)}}, \quad (5.1)$$

где F – максимальное значение усилия по механической характеристике, Н;

x – коэффициент запаса по развиваемому усилию, от которого зависит быстрдействие пневмопривода. Для пневмоцилиндров рекомендуется принимать x в пределах от 0,4 до 0,5. При больших значениях x резко возрастает время срабатывания, а при меньших – использование пневмоцилиндра неэффективно;

p – давление воздуха, подводимого к пневмоцилиндру, Па;

k – коэффициент, учитывающий потери энергии на трение. При малых нагрузках (до 600 Н) – k от 0,5 до 0,2, при нагрузках от 600 до 6000 Н – k от 0,20 до 0,12, при F от 6000 до 25000 Н – k от 0,15 до 0,08.

5.2 Расчет диафрагменного пневмопривода

В тепловозных контакторах используется диафрагменный привод одностороннего действия, компоновка которого показана на рисунке 5.2.

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.

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 $\frac{d}{D}$, тем меньше затраты мощности на растяжение диафрагмы и тем больше КПД привода.

С другой стороны увеличение отношения рабочего диаметра

диафрагмы к диаметру опорного диска позволяет увеличить площадь рабочей (активной) части диафрагмы, а следовательно, и мощность двигателя. При проектировании практически принимают $\frac{d}{D} \leq 0,8$. 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:

$$P = 0,2 ((D+d)^2 p) - P_{\text{вп}}, \quad (5.2)$$

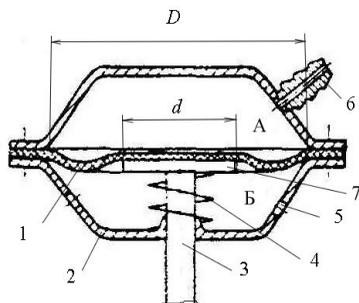
где P – усилие на штоке, Н;

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.



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 5.2 – Компоновка одностороннего диафрагменного привода [15]

6 ПРАКТИКУМ

Указания по безопасности

Лабораторные работы по дисциплине «Электрооборудование тепловозов» выполняются в тепловозной лаборатории БелГУТа на действующем стенде для испытания электрических аппаратов тепловозов. Испытательный стенд запитан трехфазным напряжением 380 В. Источники пониженного напряжения для испытания электрических аппаратов не имеют гальванической развязки от высокого питающего напряжения – регулирование напряжения осуществляется с помощью ЛАТРов. Поэтому все подсоединения испытываемых аппаратов необходимо производить при отключенном трехфазном напряжении. Нельзя прикасаться к металлическим частям испытываемых аппаратов, при необходимости регулировки или иного механического воздействия – отключать питание или использовать инструмент с диэлектрической рукояткой.

Кроме вышеназванного стенда в помещениях тепловозной лаборатории находится другое испытательное оборудование и грузоподъемные механизмы. Эти объекты также являются источниками повышенной опасности, так как могут находиться под высоким напряжением, имеют вращающиеся и (или) подвижные элементы, нагретые до высоких температур поверхности. В тепловозной лаборатории имеются емкости и трубопроводы с ГСМ и сжатым воздухом. Поэтому в ходе лабораторных работ **КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ** самовольно покидать место, обозначенное преподавателем, переключать какие-либо рубильники, тумблеры, рукоятки, нажимать кнопки и т. п., открывать кожухи, прикасаться к токоведущим частям.

К выполнению лабораторных работ допускаются только студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности под

роспись в специальном журнале.

Лабораторная работа № 1

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ УПРАВЛЕНИЯ

Цель. Изучить принцип действия и конструкцию тепловозных реле управления. Экспериментально определить основные характеристики реле. Изучить методы повышения коммутационной стойкости контактов реле, переключающих индуктивную нагрузку. Приобрести практические навыки испытания электромагнитных реле управления.

Порядок выполнения работы

1 По очереди подключить реле управления ТРПУ-1 и Р-45 к источнику регулируемого напряжения и снять значения напряжения и тока срабатывания ($U_{\text{ср}}, I_{\text{ср}}$) и возврата ($U_{\text{в}}, I_{\text{в}}$) соответственно.

2 По технической характеристике реле записать номинальное значение напряжения $U_{\text{н}}$ и измерить номинальное значение тока $I_{\text{н}}$.

3 Собрать схему в соответствии с рисунком 1 и пронаблюдать с помощью осциллографа *РО* изменение напряжения на катушке реле *K2* при отключении реле *K1*. При этом визуально проконтролировать образование электрической искры между контактами *K1.1*.

4 Дополнить схему коммутационной цепочкой, как это показано на рисунках 2, *а* и *б*. Пронаблюдать, как изменится характер изменения напряжения на катушке реле *K2* и образование электрической искры между контактами *K1.1* при отключении реле *K1*.

Содержание отчета

1 Краткое описание работы простейшего электромагнитного реле (с эскизом) и заполненная таблица 1.

2 Электрические принципиальные схемы испытания отключения индуктивной нагрузки без- и с коммутационной цепочкой. Полученные с помощью осциллографа кривые изменения напряжения с обозначением максимального напряжения и времени переходного процесса для всех вариантов подключения.

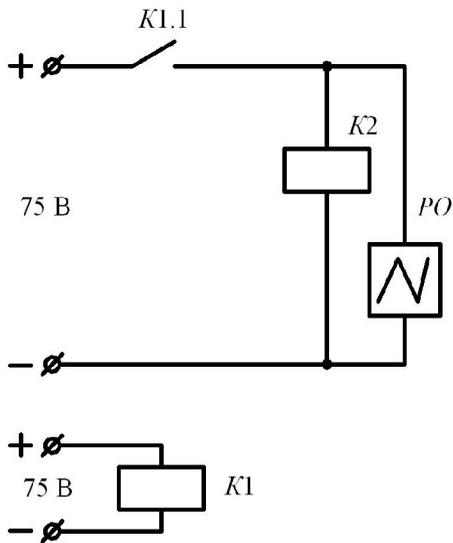


Рисунок 1 – Схема испытания отключения индуктивной нагрузки без коммутационной цепочки

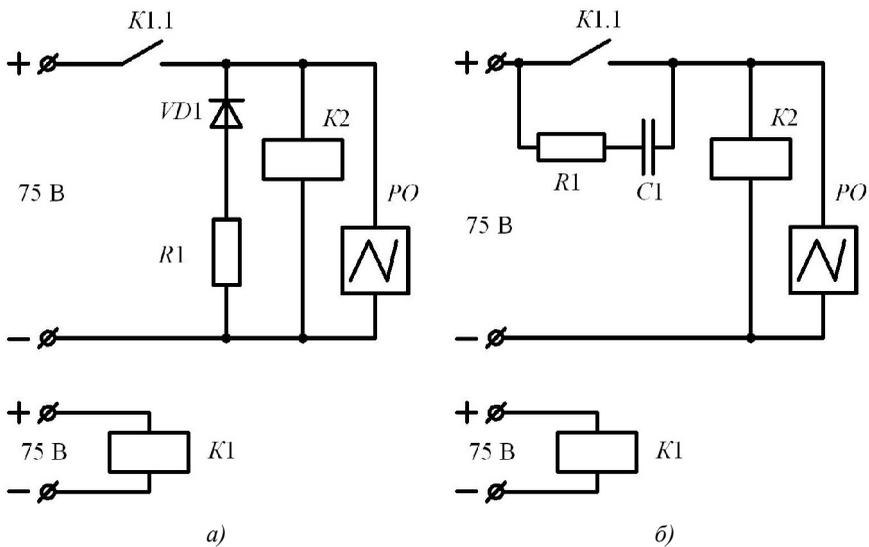


Рисунок 2 – Схемы испытания отключения индуктивной нагрузки с коммутационной цепочкой

Таблица 1 – Результаты испытания реле

Марка реле	$U_{\text{ср}},$ В	$I_{\text{ср}},$ А	$U_{\text{н}},$ В	$I_{\text{н}},$ А	$U_{\text{в}},$ В	$I_{\text{в}},$ А	Примечание

3 Расчет по формулам (1)–(3) значений коэффициентов запаса при срабатывании и возврате, а также коэффициент возврата всех испытанных реле:

$$K_{\text{ср}}^3 = \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{ср}}} = \frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{ср}}}; \quad (1)$$

$$K_{\text{в}}^3 = \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{в}}} = \frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{в}}}; \quad (2)$$

$$K_{\text{в}} = \frac{U_{\text{в}}}{U_{\text{ср}}} = \frac{I_{\text{в}}}{I_{\text{ср}}}. \quad (3)$$

4 Выводы о проделанной работе. При написании вывода не следует переписывать цель лабораторной работы. В выводе необходимо отразить результаты анализа зависимостей, полученных в ходе испытаний.

Отчет по лабораторной работе должен быть оформлен с соблюдением требований ГОСТ 2.105-95 (приложение В). Допускается оформление лабораторных работ в тонкой ученической тетради.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип действия электромагнитного реле.
- 2 Объясните, почему при отключении индуктивной нагрузки наблюдается высоковольтный импульс обратной полярности.
- 3 Объясните, для чего параллельно катушке $K2$ на рисунке 2, *а* подключена цепь из диода $VD1$ и резистора $R1$.
- 4 Почему конденсатор $C1$ и резистор $R1$ на рисунке 2, *б* уменьшают искрение на контактах $K1.1$?
- 5 Назовите основные характеристики электромагнитного реле.

Лабораторная работа № 2

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВОЗНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ

Цель. Изучить принцип действия и конструкцию специальных тепловозных реле: электромагнитного реле времени, реле перехода, реле буксования, реле типов Р-45Г2, РМ-1000. Экспериментально определить основные характеристики этих реле. Приобрести практические навыки испытания специальных тепловозных реле.

Порядок выполнения работы

1 Подключить к испытательному стенду реле РЭВ-812. Установить номинальное значение напряжения питания реле и включить его. С помощью секундомера измерить время выдержки реле. Изучить влияние величины затяжки возвращающей и (или) отжимающей пружин на время выдержки. Понизить напряжение питания реле на 30 % и измерить время выдержки.

2 Подключить к испытательному стенду дифференциальное реле РД-3010. При нулевом значении тока в токовой катушке реле определить значения токов срабатывания и возврата в катушке напряжения. Установить в токовой катушке ток величиной 1,0 А и определить значение тока в катушке напряжения, при котором реле срабатывает. Не отключая реле, установить в токовой катушке ток величиной 1,3 А и определить значение тока в катушке напряжения, при котором происходит возврат реле. При испытании этого реле необходимо обратить внимание на его ориентацию в пространстве.

3 Подключить к испытательному стенду реле буксования РК-221. Определить напряжение срабатывания и возврата реле.

4 Подключить к испытательному стенду реле заземления с механической защелкой типа Р-45Г2. Определить напряжение и ток срабатывания реле.

5 Подключить к испытательному стенду реле типа РМ-1000. Установить в удерживающей катушке реле ток величиной 0,04 А. Определить напряжение и ток во включающей катушке, при которых происходит срабатывание реле.

Содержание отчета

1 Краткие технические характеристики всех испытанных реле и их назначение.

2 Результаты испытаний реле (таблицы 1–4).

Таблица 1 – Результаты испытания электромагнитного реле времени

U , В	I , А	$t_{в}$, с	Примечание

Таблица 2 – Результаты испытания реле перехода РД-3010

Ток в токовой катушке, А	Ток в катушке напряжения, мА	
	срабатывания	возврата
0,0		
1,0		–
1,3	–	

Таблица 3 – Результаты испытания реле буксования и заземления

Марка реле	$U_{ср}$, В	$I_{ср}$, А	$U_{в}$, В	$I_{в}$, А	Примечание

Таблица 4 – Результаты испытания двухкатушечного реле

$U_{уд}$, В	$I_{уд}$, А	$U_{вкл}^{ср}$, В	$I_{вкл}^{ср}$, А	Примечание

3 Для электромагнитного реле времени расчет примерного значения максимального тока в короткозамкнутом витке (формула (4.6)).

4 Сравнение полученных значений по результатам испытания реле РД-3010 с допускаемыми, приведенными в приложении Б.

5 Сравнение коэффициента возврата реле буксования с

коэффициентом возврата реле управления, испытанных в лабораторной работе № 1.

6 Выводы о проделанной работе. При написании вывода не следует переписывать цель лабораторной работы. В выводе необходимо отразить результаты анализа зависимостей, полученных в ходе испытаний.

Отчет по лабораторной работе должен быть оформлен с соблюдением требований ГОСТ 2.105-95 (см. приложение В). Допускается оформление лабораторных работ в тонкой ученической тетради.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип действия электромагнитного реле времени.
- 2 Опишите конструкцию и принцип действия реле перехода РД-3010.
- 3 Для чего предназначено реле буксования? Почему это реле имеет высокий коэффициент возврата?
- 4 Для чего предназначено реле заземления? Почему это реле имеет механическую или электромагнитную защелку?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время на железных дорогах Российской Федерации 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.

Для планирования самостоятельной работы и облегчения подготовки студентов всех форм обучения к экзамену по дисциплине «Электрооборудование тепловозов» в приложении Г представлена рабочая программа и перечень контрольных вопросов.

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 : производств. изд. / К. К. Александров, Е. Г. Кузьмина. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.

3 **Вилькевич, Б. И.** Электрические схемы тепловозов ТЭ10М, ТЭ10У : произв.-практ. изд. / Б. И. Вилькевич. – М. : Транспорт, 1994. – 145 с. – ISBN 5-277-01835-2.

4 **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.

5 **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.

6 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.

7 **Кабардин, О. Ф.** Физика : справ. материалы : учеб. пособие для учащихся / О. Ф. Кабардин. – М. : Просвещение, 1991. – 367 с. – ISBN 5-09-003008-1.

8 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.

9 Электрооборудование тепловозов : справ. / В. Е. Верхогляд [и др.] ; под ред. В. С. Марченко. – М. : Транспорт, 1981. – 287 с.

10 Тепловоз 2М62 : экипажная часть, электрическое и вспомогательное оборудование / С. П. Филонов [и др.]. – М. : Транспорт, 1987. – 184 с.

11 Тепловозы 2ТЭ10М, 3ТЭ10М : устройство и работа / С. П. Филонов [и др.]. – М. : Транспорт, 1986. – 288 с.

12 Тепловоз 2ТЭ116 / С. П. Филонов [и др.]. – 3-е изд. перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1996. – 334 с. – ISBN 5-277-01295-8.

13 **Волосатов, В. А.** Элементы пневмопривода : в помощь рабочему-изобретателю и рационализатору / В. А. Волосатов. – Л. : Лениздат, 1975. – 136 с.

14 **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.

15 **Холзунов, А. Г.** Основы расчета пневматических приводов / А. Г. Холзунов. – М.-Л. : Машиностроение, 1964. – 268 с.

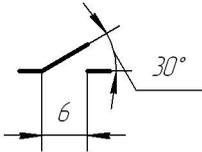
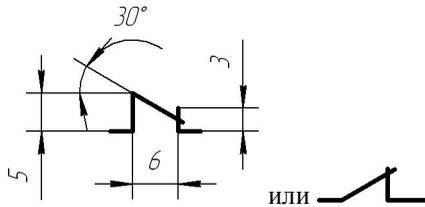
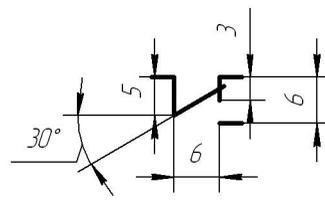
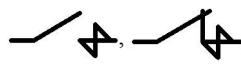
16 **Митин, Г. П.** Условные обозначения в отечественных и зарубежных электрических схемах / Г. П. Митин. – М. : Изумруд, 2003. – 224 с. – ISBN 5-98131-003-0.

17 **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.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

**НАИБОЛЕЕ УПОТРЕБИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВНЫЕ
ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ
ТЕПЛОВОЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПРИНЦИПАЛЬНЫХ СХЕМ**

*Таблица А.1 – Коммутационные устройства и контактные соединения по
ГОСТ 2.755–74 [16]*

Наименование	Обозначение
Контакт замыкающий	
Контакты размыкающие	
Контакт переключающий	
Контакты для коммутации силовой цепи	
Контакты для коммутации силовой цепи дугогасительные	

Окончание таблицы А.1

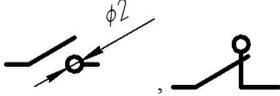
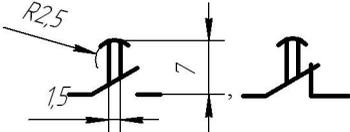
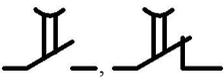
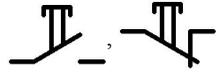
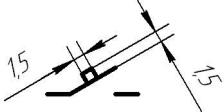
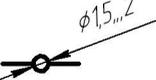
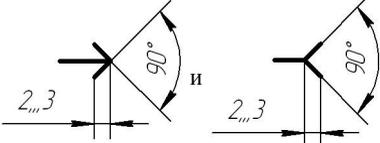
Наименование	Обозначение
Контакты без самовозврата (контакт реле заземления с механической защелкой)	
Контакты, действующие с замедлением при срабатывании (контакт реле времени)	
Контакты, действующие с замедлением при возврате (контакт реле времени)	
Выключатель кнопочный нажимной	
Контакт с автоматическим возвратом при перегрузке (автомат)	
Контакт разборного соединения	
Контакт неразборного соединения	
Контакт разъёмного соединения (штырь и гнездо соответственно)	

Таблица А.2 – Воспринимающая часть электромеханических устройств по ГОСТ 2.756–76 [16]

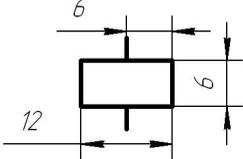
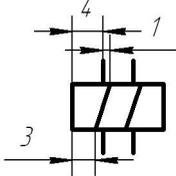
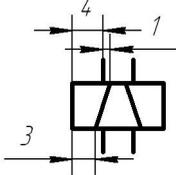
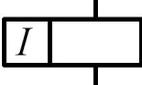
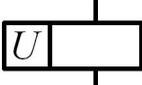
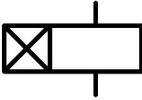
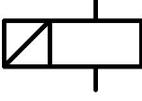
Наименование	Обозначение
Катушка электромеханического устройства	
Катушка электромеханического устройства с двумя обмотками, включенными согласно	
Катушка электромеханического устройства с двумя обмотками, включенными встречно	
Обмотка тока электромеханического устройства	
Обмотка напряжения электромеханического устройства	
Катушка электромеханического устройства, работающего с замедлением при срабатывании	
Катушка электромеханического устройства, работающего с замедлением при возврате	

Таблица А.3 – Электрические машины по ГОСТ 2.722–68 [16]

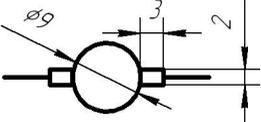
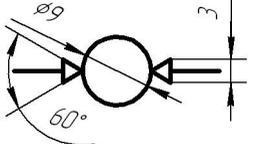
Наименование	Обозначение
Ротор с коллектором и щетками	
Ротор с кольцами и щетками	
Статор с трехфазной обмоткой, соединенной в звезду	
Ротор явнополюсный с сосредоточенной обмоткой возбуждения	
Обмотка добавочных полюсов, обмотка компенсационная	
Обмотка статора машины переменного тока, обмотка последовательного возбуждения машины постоянного тока	
Обмотка параллельного возбуждения машины постоянного тока, обмотка независимого возбуждения	

Таблица А.4 – Резисторы и конденсаторы по ГОСТ 2.728–74 [16]

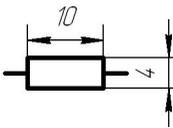
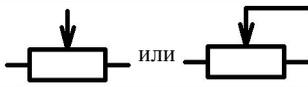
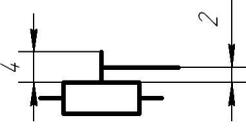
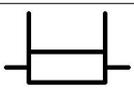
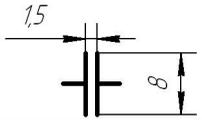
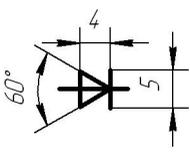
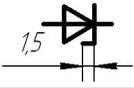
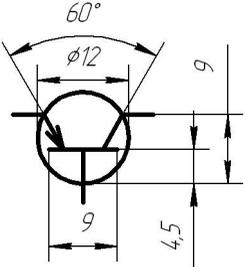
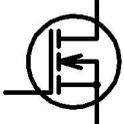
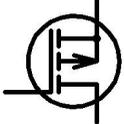
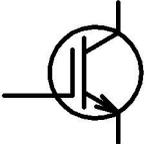
Наименование	Обозначение
Резистор постоянный	
Резистор переменный	
Резистор подстроечный	
Шунт измерительный	
Конденсатор постоянной емкости	

Таблица А.5 – Полупроводниковые приборы по ГОСТ 2.730–73 [16]

Наименование	Обозначение
Диод, общее обозначение	
Стабилитрон	
Тиристор незапираемый с управлением по аноду	

Окончание таблицы А.5

Наименование	Обозначение
Транзистор типа <i>p-n-p</i>	
Транзистор типа <i>n-p-n</i>	
MOSFET транзистор с <i>n</i> -каналом	
MOSFET транзистор с <i>p</i> -каналом	
IGBT транзистор	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

РЕЛЕ ПЕРЕХОДА РД-3010

Таблица Б.1 – Настроечные параметры реле перехода РД-3010 [9]

Ток в токовой катушке, А	Ток в катушке напряжения, мА	
	срабатывания	возврата
0,0	От 75 до 85	От 22 до 32
1,0	`` 155 `` 165	–
1,3	–	От 52 до 65

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

**НЕКОТОРЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ
ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ГОСТ 2.105-95**

Заголовки разделов должны иметь порядковые номера в пределах всего документа (части, книги), обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзачного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. В конце заголовка точка также не ставится [17].

Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него. Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой. Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак «х» [17].

Нумерация формул, за исключением формул, помещаемых в приложении, выполняется сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Одну формулу обозначают – (1). Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (1.1) [17]. Пример оформления формул можно посмотреть на странице 22 пособия.

Рисунки, за исключением рисунков приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Допускается нумеровать рисунки в пределах раздела. В этом случае номер рисунка состоит из номера раздела и порядкового номера рисунка, разделенных точкой, например «Рисунок 1.1».

Слово "Рисунок" и его наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом: «Рисунок 1 – Реле буксования» [17]. Пример оформления рисунков можно посмотреть на страницах 13–15 пособия.

Рисунки располагают после первого упоминания его в тексте. В случае недостатка места допускается размещать рисунок на следующей странице за первой ссылкой на него. На все рисунки документа должны быть приведены ссылки в тексте документа, при ссылке следует писать слово "рисунок" с указанием его номера [17].

Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения однотипных показателей. Таблицы обозначаются сверху словом «Таблица», номером и через тире названием, например «Таблица 1.1 – Результаты расчета нагрева обмотки». Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

Название таблицы должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. При переносе части таблицы на ту же или другие страницы название помещают только над первой частью таблицы, на следующей странице пишут, например, «Продолжение таблицы 1.1». Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, в первой части таблицы нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, не проводят.

На все таблицы документа должны быть приведены ссылки в тексте документа, при ссылке следует писать слово "таблица" с указанием ее номера [17].

Пример оформления таблиц можно посмотреть на страницах 22, 46 и 49 пособия.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(справочное)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТЕПЛОВЗОВ»**

Цель преподавания дисциплины

Преподавание дисциплины “**Электрооборудование тепловозов**” имеет своей целью подготовить студентов к квалифицированному обслуживанию электрических схем и аппаратов современных перспективных магистральных и маневровых тепловозов.

Задачи изучения дисциплины

Изучив дисциплину, студент должен:

знать принцип действия, конструктивное исполнение, основные технические характеристики, условия работы и требования нормативных документов к тепловозному электрооборудованию, назначение элементов и логику работы основных электрических схем, принципы построения силовых цепей, цепей возбуждения и управления основных серий тепловозов;

уметь читать принципиальные схемы, делать анализ работы элементов и узлов, находить отклонения от нормальной логики работы по отдельным признакам, обеспечить получение заданных эксплуатационных и технико-экономических показателей;

иметь представление о влиянии работы электрооборудования на технико-экономические показатели и надежность работы тепловоза, перспективе развития электрооборудования и применении новых средств автоматики в схемах тепловозов.

Содержание дисциплины

Введение

Общие сведения об электрооборудовании и электрических схемах тепловозов. Краткий исторический обзор и перспективы развития электрооборудования тепловозов. Классификация электрических аппаратов и условия их работы на тепловозе. Разновидности и особенности электрических схем локомотивов.

Т е м а 1 Электрические контакты

Разновидности электрических контактов. Основные термины и определения. Переходное сопротивление. Тепловые явления в электрических контактах. Коммутация контактов. Износ контактов. Материалы для контактных электрических соединений. Расчет контактов.

Т е м а 2 Основы теории горения и гашения электрической дуги в аппаратах коммутации

Условия возникновения и горения электрической дуги. Время горения дуги и перенапряжения в коммутируемой цепи. Способы гашения электрической дуги, применяемые в тепловозных электрических аппаратах. Особенности гашения электрической дуги в плавких предохранителях.

Т е м а 3 Электромагнитные механизмы

Определение силы притяжения электромагнита. Статические и динамические тяговые характеристики электромагнитов и механические характеристики электромагнитных механизмов. Расчет катушки электромагнита постоянного тока. Способы замедления и ускорения действия электромагнитов. Реле времени.

Т е м а 4 Электropневматические механизмы

Статические и динамические характеристики пневматического привода. Особенности расчета поршневого и диафрагменного пневмоприводов. Назначение и особенности конструкции аппаратов коммутации тяговой цепи. Силовые контактные элементы кулачковых и барабанных реверсоров. Групповые электropневматические контакторы.

Т е м а 5 Бесконтактные магнитные аппараты

Преимущества и область применения бесконтактных магнитных аппаратов. Магнитные усилители. Разновидности, устройство, принцип действия и основные характеристики магнитных усилителей. Характеристики амплистатов и их использование в схемах возбуждения. Принципы расчета амплистата и анализ полученных характеристик. Трансформаторы постоянного тока и трансформаторы постоянного напряжения. Бесконтактное тахометрическое устройство.

Индуктивный датчик.

Т е м а 6 Датчики Холла. Силовые полупроводниковые приборы

Принцип действия, основные характеристики, назначение и преимущества датчиков Холла. Лавинный диод, незапираемый тиристор, стабилитрон, силовые транзисторы, применяемые на современном тяговом подвижном составе.

Т е м а 7 Электрические цепи возбуждения тягового генератора тепловозов с передачей мощности постоянного тока

Выбор и расчет параметров аппаратов цепей возбуждения. Расчет элементов селективного узла. Способы настройки селективной характеристики. Связь режимов работы тяговой цепи и цепи возбуждения. Цепи аварийного возбуждения тягового генератора.

Т е м а 8 Электрические цепи возбуждения тягового генератора тепловозов с передачей мощности переменного-постоянного тока

Элементы и блоки цепей возбуждения. Особенности расчета и выбор элементов управляемого выпрямителя возбуждения. Цепи аварийного возбуждения. Особенности цепей возбуждения тягового генератора тепловозов с реостатным торможением.

Т е м а 9 Селективный узел тепловозов с передачей мощности переменного-постоянного тока

Устройство и принцип работы селективного узла. Расчет элементов селективного узла. Методика настройки селективной характеристики. Объединенное регулирование частоты вращения коленчатого вала дизеля и параметров внешней характеристики тягового генератора. Цепи аварийного снижения мощности и напряжения тягового генератора.

Т е м а 10 Аварийные режимы и схемы защиты тяговой цепи

Перегрузочная способность тяговой цепи и основные параметры аварийных режимов. Схемы обнаружения замыкания тяговой цепи на корпус тепловоза. Схемы защиты выпрямительной установки от перегрузок и коротких замыканий. Защита от обратных токов и обрыва обмоток возбуждения тяговых электродвигателей. Основные параметры и устройство электромагнитных реле для цепей защиты.

Т е м а 11 Системы регулирования, повышающие тяговые возможности тепловозов

Проблема повышения использования сцепного веса тепловозов. Жесткость тяговой характеристики. Способы и схемы повышения жесткости тяговой характеристики. Датчики и схемы обнаружения буксования. Системы снижения мощности тягового генератора при буксовании колесных пар.

Т е м а 12 Тепловозные регуляторы напряжения

Принципы действия и особенности работы регуляторов напряжения в тепловозных схемах. Принципиальные схемы и работа бесконтактных полупроводниковых регуляторов напряжения, их основные параметры.

Т е м а 13 Аппараты и схемы управления, контроля и защиты оборудования тепловоза

Схема управления тепловозом и ее функции. Защита дизеля от аварийных режимов. Цепи управления устройством охлаждения дизеля, пожарной сигнализации, питания АЛСН и радиостанции. Неисправности цепей управления и методы их определения. Указатель повреждений цепей управления. Методы устранения неисправностей в цепях управления.

Т е м а 14 Надежность, диагностика и перспективы развития схем тепловозов

Показатели надежности работы электрических схем тепловозов. Факторы, влияющие на надежность электрических аппаратов и схем. Диагностика электрооборудования. Бортовые и стационарные устройства, предназначенные для диагностики электрических схем тепловозов. Современные микропроцессорные системы управления электрической передачей тепловоза.

Контрольные вопросы

Введение

1 Для чего предназначены электрические аппараты, какие электрические аппараты используются на тепловозах?

2 Что называется электрической схемой?

3 Перечислите требования, предъявляемые к электрическим аппаратам тепловозов.

4 Какие бывают по назначению схемы тепловозов?

Т е м а 1

1 Что называют притиркой контактов?

2 Что называют электрическим контактом? Перечислите виды контактных соединений.

3 Какие по форме бывают контактные поверхности?

4 Что называют раствором контактов?

5 Что называют провалом контактов?

6 От чего зависит электрическое сопротивление контактного соединения? Как его можно уменьшить?

Т е м а 2

1 При каких условиях возникает электрическая дуга?

2 Что такое дугогасительная решетка и принцип ее действия?

3 В чем заключается механический способ гашения дуги?

4 Что такое магнитное дутье?

5 Почему необходимо гасить электрическую дугу, возникающую в электрических аппаратах?

6 Назначение дугогасительной камеры.

7 Чем и для чего заполняют трубчатые предохранители?

8 Для чего предназначены клинообразные вырезы на плавкой вставке трубчатого предохранителя?

Т е м а 3

1 Каким отношением определяется постоянная времени электромагнитного реле времени?

2 Почему рабочая точка магнитопровода электромагнитного реле времени находится в зоне глубокого насыщения?

3 Опишите конструкцию и принцип действия электромагнитного реле (контактора).

4 Опишите конструкцию, назначение и принцип действия электромагнитного реле времени.

5 Опишите конструкцию, назначение и принцип действия электронного реле времени.

Т е м а 4

1 В каких электрических тепловозных аппаратах используется пневматический привод?

2 Опишите конструкцию, назначение и принцип действия группового контактора ослабления поля ТЭД.

3 Опишите конструкцию, назначение и принцип действия реверсора.

4 Опишите конструкцию, назначение и принцип действия поездного контактора.

5 Опишите конструкцию, назначение и принцип действия электропневматического вентиля.

Т е м а 5

1 Что называют рабочей обмоткой магнитного усилителя?

2 Опишите принцип действия магнитного усилителя с внешней положительной обратной связью и с нагрузкой, включенной на постоянном токе.

3 Каким образом можно повысить коэффициент усиления магнитного усилителя?

4 Опишите принцип действия простого магнитного усилителя с нагрузкой, включенной на постоянном токе.

5 Опишите принцип действия магнитного усилителя с внутренней положительной обратной связью и с нагрузкой, включенной на постоянном токе.

6 Опишите принцип действия простого магнитного усилителя с нагрузкой, включенной на переменном токе.

7 Для чего предназначен магнитный усилитель?

8 Какое устройство называют магнитным усилителем?

9 Какие виды магнитных усилителей вы знаете?

Т е м а 6

1 Тиристор. Его вольт-амперная характеристика и назначение.

2 Стабилитрон. Его вольт-амперная характеристика и назначение.

3 Полупроводниковый диод. Его вольт-амперная характеристика и назначение. Лавинный диод.

4 Опишите назначение и принцип действия датчиков Холла.

Т е м а 7

1 Опишите процесс ограничения максимального напряжения тягового генератора в схеме возбуждения с амплистатом.

2 Опишите процесс ограничения мощности тягового генератора в схеме возбуждения с амплистатом.

3 Для чего предназначена обмотка задающая амплистата возбуждения?

4 Для чего предназначена регулировочная обмотка амплистата возбуждения?

5 Для чего предназначена обмотка управления амплистата возбуждения?

6 Опишите процесс ограничения максимального тока тягового

генератора в схеме возбуждения с амплистатом.

7 Селективный узел тепловоза с передачей постоянного тока. Селективная характеристика.

8 Схема аварийного возбуждения тягового генератора тепловоза с передачей постоянного тока.

9 Каким образом осуществляется объединенное регулирование мощности тепловозного дизель-генератора?

Т е м а 8

1 Назначение и принцип действия управляемого выпрямителя возбуждения тепловоза с передачей переменного-постоянного тока.

2 Нарисуйте структурную схему передачи тепловоза переменного-постоянного тока и опишите назначение каждого элемента схемы.

3 Назначение и принцип действия блока управления возбуждением тепловоза с передачей переменного-постоянного тока.

4 Схема аварийного возбуждения тягового генератора тепловоза с передачей переменного-постоянного тока.

5 Работа тяговой цепи тепловоза с передачей переменного-постоянного тока при реостатном торможении.

Т е м а 9

1 Опишите устройство и принцип действия селективного узла тепловоза с передачей переменного-постоянного тока.

2 Опишите работу канала регулирования тока тягового генератора селективного узла тепловоза с передачей переменного-постоянного тока.

3 Опишите работу канала регулирования мощности тягового генератора селективного узла тепловоза с передачей переменного-постоянного тока.

4 Опишите работу канала регулирования напряжения тягового генератора селективного узла тепловоза с передачей переменного-постоянного тока.

Т е м а 10

1 Чем опасен обрыв обмотки возбуждения ТЭД при работе на ослабленном поле?

2 Для чего предназначено реле обрыва полюсов, и каков принцип обнаружения данной аварийной ситуации?

3 Реле заземления. Схема включения, принцип действия и назначение. Принцип действия электромагнитной «защелки».

4 Каким образом реализована защита выпрямительной установки от перегрузок и коротких замыканий?

5 Каким образом реализована защита тяговой цепи от обратных токов?

Т е м а 11

1 Опишите принцип действия системы формирования жестких динамических характеристик тягового генератора.

2 Система уравнительных соединений. Принцип действия и назначение.

3 Опишите принцип действия системы снижения мощности тягового генератора при буксовании колесных пар (реле буксования).

4 Каким образом и для чего осуществляется формирование наклонных характеристик тягового генератора?

5 Каким образом ограничена максимальная частота вращения одновременно буксующих всех колесных пар тепловоза?

Т е м а 12

1 Опишите назначение и принцип действия тепловозного бесконтактного регулятора напряжения.

2 Объясните, почему необходимо регулировать ток возбуждения вспомогательного генератора.

Т е м а 13

1 Опишите назначение и принцип действия указателя повреждений цепей управления тепловоза.

2 Каким образом и по каким параметрам с помощью электрической схемы реализована защита тепловозного дизеля?

3 Опишите назначение и принцип действия пожарной сигнализации.

Т е м а 14

1 Основные показатели надежности электрических элементов. Их взаимосвязь.

2 Перспективные направления развития электрооборудования тепловозов.

3 Приведите примеры современных микропроцессорных систем управления тепловозом, перечислите их функциональные возможности.

Учебное издание

СКРЕЖЕНДЕВСКИЙ Виктор Владимирович

Электрооборудование тепловозов

Учебно-методическое пособие

Часть I

Редактор *Т. М. Ризевская*

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Корректор *М. П. Дежко*

Подписано в печать 12.05.2008 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 3,28. Тираж 150 экз.

Зак. № . Изд. № 5

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта:

ЛИ № 02330/0133394 от 19.07.2004 г.

ЛП № 02330/0148780 от 30.04.2004 г.

246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.