

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ**

**ПОСОБИЕ**

**для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2009

УДК 621.316.5(075.8)  
ББК 31.264я73  
Э45

*Рекомендовано научно-методическим советом  
факультета автоматизированных и информационных систем  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 7 от 09.03.2009 г.)*

Составители: *Л. В. Веппер, В. В. Логвин, Д. А. Хабибуллин*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого  
*Ю. А. Рудченко*

Э45 **Электрические** аппараты : пособие для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. и заоч. форм обучения / сост.: Л. В. Веппер, В. В. Логвин, Д. А. Хабибуллин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 63 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Изложен принцип действия, приведены характеристики и технические данные электрических аппаратов силовых цепей, цепей защиты, управления, условие выбора аппаратов защиты.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» дневной и заочной форм обучения

УДК 621.316.5(075.8)  
ББК 31.264я73

© Веппер Л. В., Логвин В. В., Хабибуллин Д. А.,  
составление, 2009  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2009

# 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.

## 1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.

Электрический аппарат – это электротехническое устройство, предназначенное для управления, регулирования и защиты электрических цепей, а также для контроля и регулирования различных неэлектрических процессов.

Электрические аппараты общепромышленного назначения, электробытовые аппараты и устройства выпускаются напряжением до 1 кВ, высоковольтные – свыше 1 кВ.

Электрические аппараты классифицируются по ряду признаков: назначению, т.е. основной функции, выполняемой аппаратом; принципу действия; роду тока (переменный или постоянный); величине тока; величине напряжения (до 1 кВ и выше); исполнению; степени защиты (*IP*); конструктивным особенностям и области применения.

В зависимости от назначения аппараты можно подразделить на следующие группы:

*Аппараты управления*, предназначены для пуска, реверсирования, торможения, регулирования скорости вращения, напряжения, тока электрических машин, станков, механизмов или для пуска и регулирования параметров других потребителей электроэнергии в системах электроснабжения. К ним относятся электромагнитные контроллеры, пускатели, реле, кнопки управления, переключатели, контроллеры, резисторы и реостаты. Для аппаратов управления характерно частое коммутирование (включение и отключение) электрических цепей.

Электрические аппараты управления подразделяются на аппараты ручного и дистанционного управления, т.е. управление каким-либо объектом осуществляется на расстоянии от пункта управления.

К аппаратам дистанционного управления относятся электромагнитные контакторы, пускатели, реле и электромагниты.

*Аппараты защиты*, используются для коммутации электрических цепей, защиты электрооборудования и электрических сетей от сверхтоков, т.е. токов перегрузки, пиковых токов, токов коротких замыканий. К ним относятся плавкие предохранители, автоматические выключатели, тепловые и токовые реле.

*Контролирующие аппараты*, предназначены для контроля заданных электрических и неэлектрических параметров. К этой группе относятся датчики. Эти аппараты преобразуют электрические или неэлектрические величины в электрические и выдают информацию в виде электрических сигналов. Такие устройства называются измерительными.

ми преобразователями или датчиками. К контролирующим аппаратам относятся датчики тока, давления, температуры, положения, уровня, пьезодатчики, фотодатчики, датчики Холла, а также реле, реализующие функции датчиков, например реле контроля скорости (РКС), реле времени, напряжения, тока.

При достижении контролируемым параметром определенного значения реле срабатывает и своими исполнительными органами воздействует на схему автоматики управления электрооборудованием станков, механизмов и машин.

Датчиками тока служат трансформаторы тока в цепях переменного тока и магнитные усилители в цепях постоянного тока, а также токовые и тепловые реле. Реле напряжения реагируют на величину напряжения. Реле времени обеспечивают временную регулируемую задержку выходного сигнала относительно входного сигнала.

В качестве фотодатчиков используются чувствительные фотоэлементы, реагирующие на изменение освещенности.

*Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам.* Существуют общие требования, которым должны соответствовать электрические аппараты. Они зависят от назначения, условий эксплуатации, необходимой надежности аппаратов. Изоляция электрических аппаратов должна быть рассчитана в зависимости от условий возможных перенапряжений, которые могут возникать в процессе работы электрической установки.

Аппараты, предназначенные для частого включения и отключения номинального тока нагрузки, должны иметь высокую механическую и электрическую износостойчивость, а температура токоведущих элементов не должна превышать допустимых значений.

При коротком замыкании токоведущая часть аппарата подвергается значительным термическим и динамическим нагрузкам, которые вызваны большим током. Эти экстремальные нагрузки не должны препятствовать дальнейшей нормальной работе аппарата.

Электрические аппараты в схемах современных электротехнических устройств должны обладать высокой чувствительностью, быстродействием, универсальностью.

## **1.2. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ИХ УСТРОЙСТВО.**

Для управления и защиты электроустановок наиболее широко используются контактные аппараты: рубильники, автоматические воздушные выключатели (автоматы), контакторы, магнитные пускатели,

реле. Основными элементами их являются электрические контакты, дугогасительные устройства и электромагнитные механизмы.

### 1.2.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

*Электрическим контактом* называется зона перехода электрического тока из одной токоведущей части в другую. Поверхности, на которых осуществляется электрический контакт, называются контактными. Обеспечить такие же условия прохождения тока, как и в сплошном проводнике, в месте электрического контакта практически невозможно. Вследствие этого контактные соединения являются более уязвимым местом электрического аппарата и требуют особого внимания как при его конструировании, так и в процессе эксплуатации.

Характеристики контактов электрических аппаратов:

раствор контакта – кратчайшее расстояние между контактными поверхностями подвижного и неподвижного контактов в разомкнутом положении (рис. 1.1, а);

нажатие контакта – усилие, с которым одна контактная поверхность воздействует на другую;

начальное нажатие контакта – нажатие пружин на контакт при разомкнутом положении контактов;

конечное нажатие контакта – нажатие в момент окончания замыкания подвижного контакта с неподвижным;

провал контакта – расстояние, на которое может сместиться подвижный контакт, если убрать неподвижный (рис. 1.1, б).

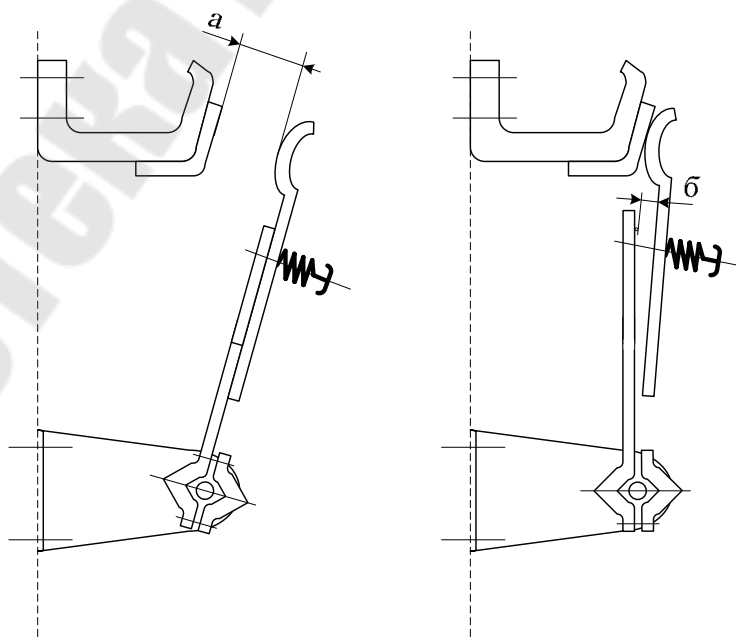


Рис. 1.1. Раствор и провал контактов: а – раствор; б – провал

Поверхность контактов должна быть хорошо обработана для обеспечения достаточной площади соприкосновения, а следовательно, и проводимости электрического тока. Однако, как бы ни была тщательно обработана поверхность соприкосновения контактов, электрический ток проходит из одного контакта в другой только в отдельных точках, где две поверхности контактов касаются друг друга контактирующими выступами, так как абсолютно гладкая поверхность не получится ни при каком способе обработки.

При нажатии одного контакта на другой вершины выступов сминаются, в результате образуются площадки действительного касания контактов (рис. 1.2).

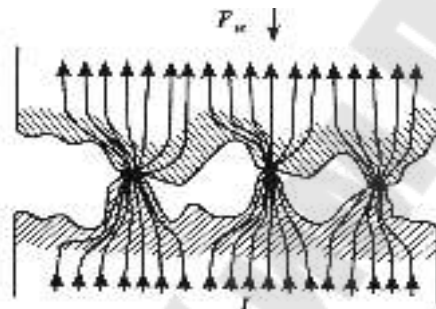


Рис. 1.2. Примерная картинка прохождения тока в электрическом контакте.

Рассмотрим процесс перехода тока из одного контакта в другой при касании двух цилиндрических контактов на торцах.

Выделим одну площадку касания. Предположим, что она имеет форму круга радиусом  $a$ , который при пластической деформации можно определить по формуле

$$\pi a^2 = F_k / \sigma,$$

где,  $F_k$  – сила нажатия контактов, Н;

$\sigma$  – временное сопротивление материала контакта смятию, Н/м.

В результате того что линии тока стягиваются к площадке касания, путь тока изменяется. Сечение проводника, через которое фактически проходит ток, становится меньше, что вызывает увеличение сопротивления прохождения тока.

Сопротивление в области точки касания, обусловленное явлениями стягивания линий тока, называется переходным сопротивлением контакта. Оно зависит от силы нажатия  $F_k$ . Зависимость переходного сопротивления от силы нажатия различная для контактных материалов (латуни, меди, серебра): чем сильнее нажатие, тем меньше переходное сопротивление, чем тверже материал, тем сильнее должно быть нажатие.

По конструктивному исполнению контакты аппаратов подразделяются на:

- а) рычажные;
- б) мостиковые;
- в) врубные;
- г) щеточные;
- д) скользящие;
- е) пластинчатые;

Рычажные контакты широко применяются в аппаратах с поворотной подвижной системой. Их рабочие поверхности выполняются в виде плоскость-цилиндр или цилиндр-цилиндр.

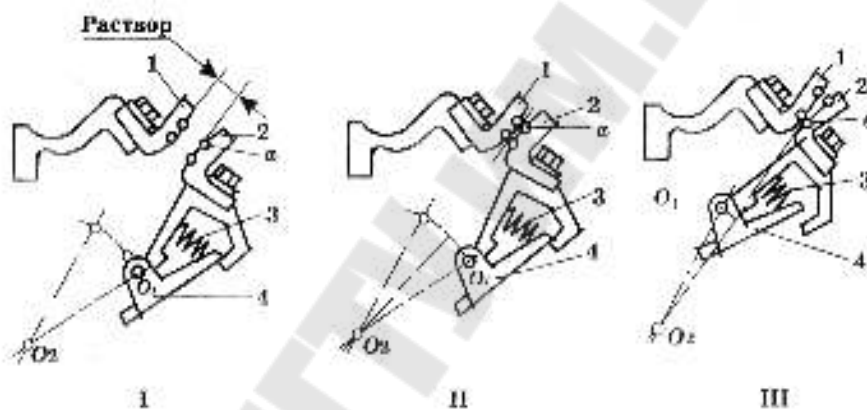


Рис. 1.3. Пальцевая система контактов с перекатыванием контактирующих поверхностей.

Рассмотрим *рычажные контакты с перекатыванием*. Неподвижный контакт 1 крепится к корпусу аппарата на изоляционной прокладке. При включении контактный рычаг 4 вращается вручную или электрической машиной вокруг центра  $O_2$ , а точка  $O_1$  (центр вращения контактной скобы 3) перемещается по радиусу  $O_1O_2$ . Для наглядности точки начального и конечного касания обозначены буквами  $a$  и  $b$ . Касание пальцевых контактов 1 и 2 происходит в точках  $a$ . При дальнейшем перемещении  $O_1$  точка касания переходит в точку  $b$ . При этом происходит перекатывание контакта 2 по контакту 1 с небольшим проскальзыванием, за счет чего пленка оксида на них стирается. Проскальзывание должно быть небольшим для уменьшения вибрации контактов из-за шероховатости поверхности. При отключении дуга загорается между точками  $a-a$ , что предохраняет от оплавления точки  $b-b$ , которые про-

водят электрический ток длительно. Контактное нажатие создается пружиной 3. Такая контактная система широко применяется в контакторах с медными контактами (контакторы, автоматы).

*Мостиковые контакты* (рис. 1.4) применяются в аппаратах с прямоходовой подвижной системой. Неподвижный контакт 1 и подвижный мостиковый контакт 2 в месте касания имеют сферические (или цилиндрические) напайки 3, выполненные из серебра или металлокерамики. Контактное нажатие создается пружиной 4.

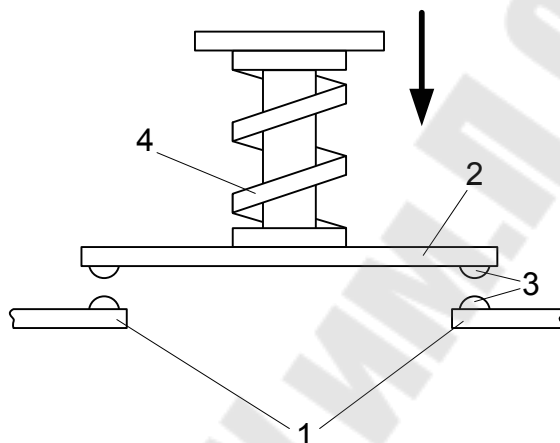


Рис. 1.4. Самоустанавливающийся контакт мостикового типа.

Достоинством их является отсутствие гибкого соединения и двойной разрыв, улучшающий гашение дуги. Недостаток – удвоенное переходное сопротивление. Мостиковые контакты используются в кнопках управления, магнитных пускателях, конечных выключателях.

*Врубные (клиновые) контакты* (рис. 1.5) применяются в рубильниках, предохранителях, пакетных выключателях.

Контактное нажатие в контактах обеспечивается: для небольших токов за счет упругих свойств материала стоек (твердотекучая медь, специальная бронза), для больших токов – с помощью специальной пружины. Врубные контакты не обеспечивают гашения дуги.

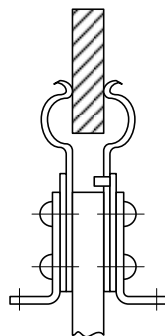


Рис. 1.5. Врубной контакт.



*Щеточные контакты* (рис. 1.6). Неподвижные контакты 1 выполнены в виде массивных медных призм, часто покрываемых серебром.

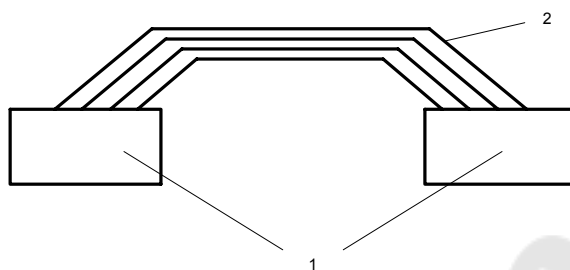


Рис. 1.6. Щеточный контакт.

Подвижные контакты выполнены в виде пакета эластичных медных пластин 2. Большое количество пластин создает многоточечный контакт с малым переходным сопротивлением. При нажатии на подвижный контакт происходит деформация пластин, скольжение по поверхности неподвижных контактов и разрушение пленки оксидов.

*Скользящие контакты* (рис. 1.7) осуществляют передачу тока с неподвижной контактной детали на подвижную без обрыва цепи.

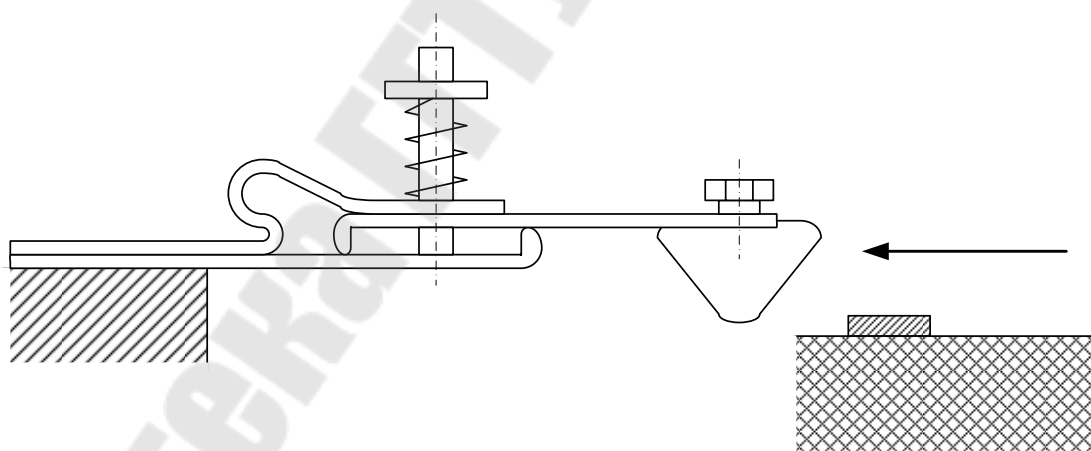


Рис. 1.7. Скользящий контакт.

В аппаратах низкого напряжения скользящие контакты применяются в реостатах и контроллерах.

*Пластинчатые (пружинные) контакты* (рис. 1.8).

Контактные накладки 3 устанавливаются на токоведущих пластинчатых пружинах 2, изготовленных, например, из фосфористой бронзы. Стальная пружина 1 создает предварительную деформацию верхней

пластины 2, так что непосредственно в момент касания контактов создается необходимая сила нажатия.

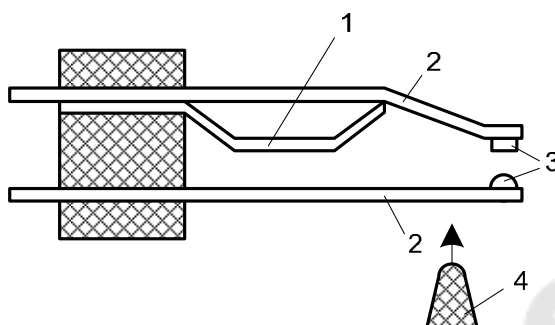


Рис. 1.8. Пластинчатый контакт.

Замыкание контактов осуществляется при перемещении вверх упора 4 приводной системы реле.

### 1.2.2. ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА.

Размыкание электрической цепи, по которой протекает ток, сопровождается электрическим разрядом между расходящимися контактами. Воздушный промежуток между ними ионизируется и становится на некоторое время проводящим, в нем возникает электрическая дуга, которая вызывает подгорание и быстрый износ контактных поверхностей электрических аппаратов. Для ускорения разрыва дуги и смещение ее с рабочей поверхности контактов на нерабочую применяются дугогасительные камеры (рис.1.9).

В низковольтных электрических аппаратах применяются два способа принудительного гашения дуги: магнитный и деионный.

При *магнитном* гашении контакты помещены внутри дугогасительной камеры 3 (рис. 1.9, а), изготовленной из теплоустойчивого изоляционного материала. С обеих сторон камера охвачена стальными щетками 4, прикрепленными к концам стального сердечника 1 дугогасительного электромагнита. На сердечник намотана дугогасительная катушка 2, включенная последовательно в цепь, разрываемую контактами 6. При разрывании контактов между ними образуется электрическая дуга 5, а вокруг нее – магнитное поле, направление которого показано на рисунке кружочками. Направление намотки дугогасительной катушки такое, что его магнитное поле усиливает магнитный поток под дугой и ослабляет его над дугой (направление поля катушки показано на рисунке крестиками). В результате этого дуга выталкивается (выдувается) вверх, растягивается, интенсивно охлаждается и быстро гасится внутри узкой щели камеры.

Магнитное гашение дуги применяется в электрических аппаратах постоянного и переменного тока.

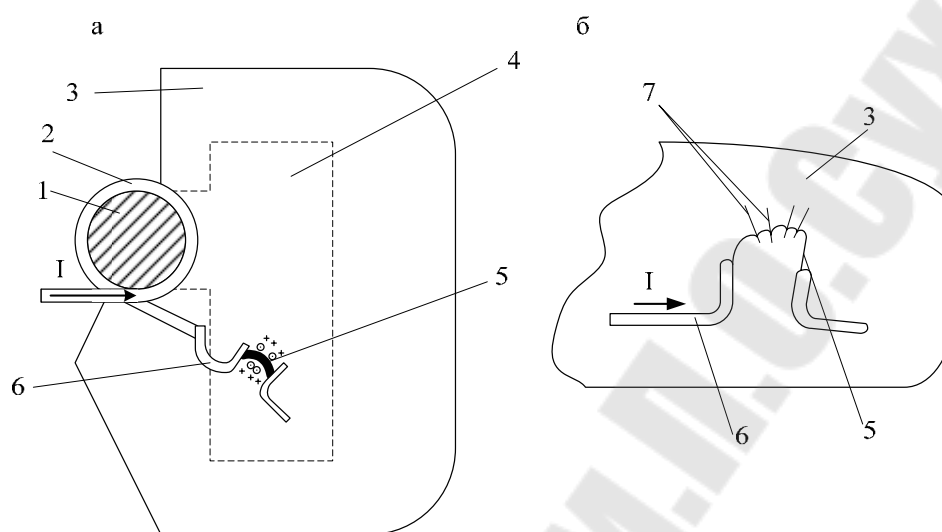


Рис. 1.9. Устройство дугогасительных камер:  
а – с магнитным гашением; б – с деионным гашением дуги.

При *деионном гашении* (рис. 1.9, б) над контактами 6, помещенными внутри дугогасительной камеры 3, располагается решетка из стальных пластин 7 толщиной около 2 мм. Для уменьшения коррозии пластины имеют медные покрытия. Расстояния между пластинами 2-3 мм. При размыкании контактов образовавшаяся между ними дуга потоком воздуха выдувается кверху и попадает в зону металлической решетки, пластинами разбивается на части, интенсивно охлаждается и быстро гаснет.

Деионное гашение дуги позволяет существенно уменьшить габариты дугогасительного устройства, световой и звуковой эффекты гашения. Особенно широкое применение деионное гашение электрической дуги нашло в аппаратах переменного тока.

### 1.2.3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ.

Преобразовывая электромагнитную энергию в механическую, электромагнитные механизмы (устройства) создают силы притяжения на подвижной части магнитопровода. Такие устройства широко применяются в электрических аппаратах в качестве приводов, чувствительных элементов, источников электромагнитного дутья в дугогасительных камерах. Основным элементом электромагнитного устройства является электромагнит.

Электромагниты классифицируются по способу действия (удерживающие и притягивающие), по способу включения (с параллельной катушкой и последовательной), роду тока (постоянного и переменного), характеру движения якоря (поворотные и прямоходовые).

Электромагниты состоят из неподвижного сердечника 3, закрепленного на ярме (скобе) 1, подвижного якоря 2 и втягивающей катушки 4 (рис. 1.10). Сердечник и якорь изготавливаются из ферромагнитных материалов (магнитомягкая или трансформаторная сталь), а катушка из медного изолированного провода. Провод обычно имеет эмалевую изоляцию. Катушка обычно пропитывается дополнительно специальными лаками, что повышает электрическую прочность изоляции, улучшает условия отвода тепла при протекании по катушке тока и снижает гигроскопичность (свойство впитывать влагу) катушки.

В электромагнитах с параллельной катушкой (катушкой напряжения), имеющей большое число витков (до нескольких тысяч), выполненных проводом малого сечения, ток в катушке определяется напряжением сети и активным сопротивлением катушки, т.е.  $I=U/r_k$  (для катушки напряжения постоянного тока), где  $U$  – напряжение сети;  $r_k$  – активное сопротивление катушки.

Для катушки напряжения переменного тока  $I=U/z_k$ , где  $z_k = \sqrt{r_k^2 + (\omega L)^2}$ ;  $z_k$  – полное сопротивление катушки;  $L$  – индуктивность катушки;  $\omega$  – угловая частота.

Параллельная катушка включается параллельно потребителям на полное напряжение сети или через добавочное сопротивление.

В электромагнитах с последовательной катушкой (токовой), имеющей небольшое число витков (от одного до нескольких сотен), выполненных проводом большого сечения, ток в катушке определяется не сопротивлением катушки электромагнита, а сопротивлением всей цепи, в которую последовательно включена катушка.

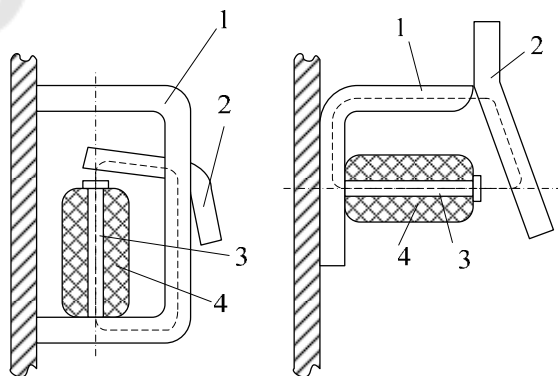


Рис. 1.10. Конструкции электромагнитов постоянного тока.

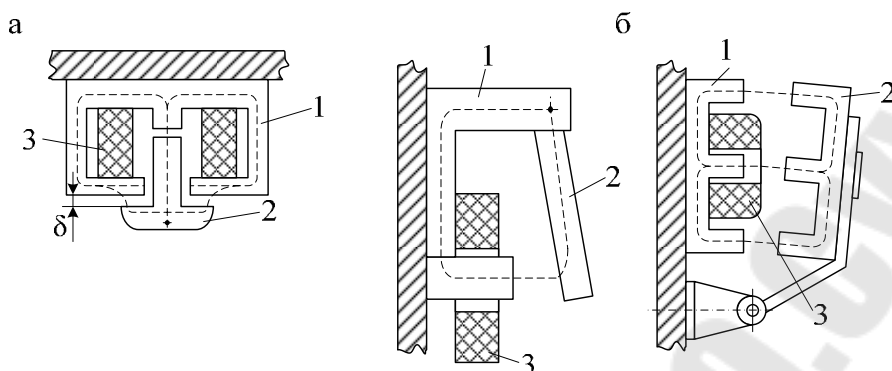


Рис. 1.11. Конструкции элементов переменного тока:  
а – с прямоходовым якорем; б – с поворотным якорем.

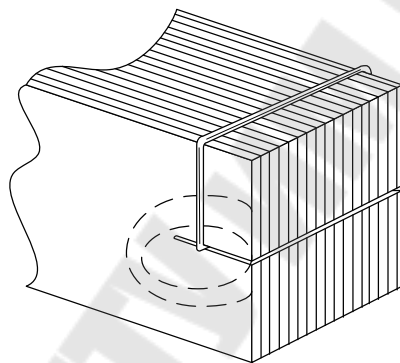


Рис. 1.12. Короткозамкнутый виток на сердечнике электромагнита переменного тока

Сердечник и якорь электромагнитов постоянного тока изготавливаются сплошными из магнитомягкой стали. В нерабочем состоянии (при отсутствии тока во втягивающей катушке) воздушный зазор между сердечником и якорем имеет небольшую величину. Это способствует созданию электромагнитом большого тягового усилия при относительно небольшом токе в катушке, а следовательно, и небольшой потребляемой ею мощности.

В целях исключения возможного «залипания» якоря за счет потока остаточного магнетизма после отключения катушки в воздушном зазоре между сердечником и якорем электромагнита постоянного тока помещается прокладка из немагнитного материала (латунь, бронза).

У электромагнитов переменного тока (рис. 1.11) величина и направление магнитного потока непрерывно изменяется вместе с изменением направления тока в катушке 3. Поэтому сердечник 1 и якорь 2 изготавливаются не сплошными, как у электромагнитов постоянного то-

ка, а шихтуются из изолированных листов электротехнической стали. Это уменьшает величину вихревых токов в магнитопроводе, потери энергии и нагрев его.

Ток катушки электромагнита переменного тока зависит главным образом от индуктивности цепи катушки, которая, в свою очередь, определяется величиной воздушного зазора между сердечником и якорем. При большом зазоре, т.е. при отключенном электромагните, индуктивность мала, незначительно и полное сопротивление цепи катушки. Поэтому в момент включения катушки в сеть по ней будет протекать ток (пусковой), в 10-15 раз превышающий номинальный при втянутом якоре и номинальном напряжении в катушке. По этой причине возможно быстрое сгорание катушки, рассчитанной на номинальный ток, при застревании якоря в начале пуска; это ограничивает также допустимое число включений в час электромагнитов переменного тока. Сильное уменьшение тока катушки по мере уменьшения зазора ограничивает тяговое усилие по сравнению с электромагнитами постоянного тока, у которых установившийся ток не зависит от хода якоря.

Катушки электромагнитов переменного тока, используемые в электрических аппаратах, питаются однофазным током, вследствие чего магнитный поток в системе электромагнита периодически проходит через нуль, что вызывает вибрацию якоря и ускоренный износ его. Вибрация сопровождается гудением. Для ослабления этих явлений на торцевой части сердечника или якоря накладывается медный короткозамкнутый виток, который охватывает около  $\frac{1}{3}$  площади его сечения (рис. 1.12). В моменты перехода основного потока сердечника через нуль скорость изменения его максимальна, и поэтому в короткозамкнутом витке наводится максимальная ЭДС. Через виток проходит ток, который создает свой магнитный поток, замыкающийся через сердечник и якорь и препятствующий отпаданию якоря при переходе основного потока через нуль.

## **2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАХ И РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫХ СХЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ.**

В релейно-контакторных схемах управления электроприводами для коммутации и защиты силовых цепей и цепей управления применяются различные виды электрических аппаратов, которые изображаются условными графическими обозначениями (прилож.1) и имеют буквенные коды (прилож.2). По расположению в электрической схеме конкретной уста-

новки электрические аппараты подразделяются на следующие виды: аппараты силовой (главной) цепи; аппараты цепей управления; аппараты защиты; командные аппараты.

## 2.1. АППАРАТЫ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ.

Аппараты силовых цепей широко используются для замыкания, размыкания или переключения электрических цепей с большими токами (силовые цепи электродвигателей, силовых трансформаторов, нагревательных цепей и др.). Они могут быть с ручным управлением или с приводом от электромагнитов.

Аппараты с ручным управлением требуют значительных усилий оператора, имеют сравнительно большие габариты и ограниченную мощность. При их использовании затрудняются автоматизация и централизация управления механизмами.

В схемах дистанционного и автоматического управления механизмами и технологическими комплексами применяются контакторы и магнитные пускатели. Контакты этих аппаратов, включенные в силовые цепи, приводятся в действие не вручную, а через вспомогательные электромагниты, для управления которыми используются разнообразные командные аппараты и реле.

*Рубильники и переключатели* предназначены для ручного непосредственного или дистанционного замыкания, размыкания или переключения электрических цепей переменного тока частотой 50 Гц, напряжением до 500 В и постоянного тока напряжением до 440 В.

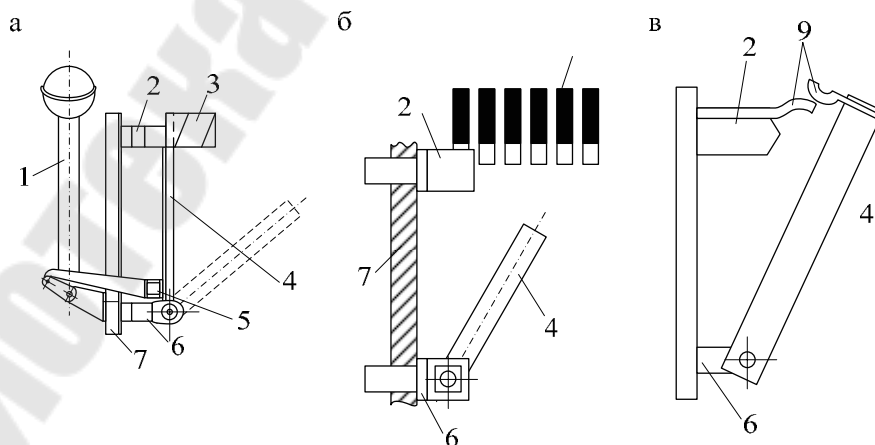


Рис. 2.1. Рубильник с боковой рукояткой и дугогасительными устройствами: а – общий вид; б – контактная система с дугогасительными камерами; в – контактная система с дугогасительными контактами

*Рубильники* (рис. 2.1) и переключатели выполняются одно-, двух- и трех-полюсными. Основными элементами их являются: неподвижные врубные контакты 2, подвижные контакты 4, закрепленные шарнирно в других неподвижных контактах 6, дугогасительное устройство 3 и привод, который может осуществляться при помощи центральной или боковой рукоятки 1 через вал 5. Имеются также рубильники с центральным рычажным приводом. Монтируются рубильники на изоляционных плитах 7. Провода электрической сети в зависимости от конструкции рубильников могут присоединяться к ним сзади или спереди.

Важнейшей частью рубильника являются контакты. В рубильниках, рассчитанных на малые токи, контактное нажатие обеспечивается за счет пружинящих свойств материала губок, а на токи от 100 А и выше – стальными пружинами. Для гашения дуги, возникающей в момент замыкания и размыкания контактов, применяются камеры с дугогасительной решеткой 8. В рубильниках постоянного тока при токах свыше 100 А и во всех рубильниках переменного тока, где скорость расхождения контактов не влияет на условия гашения дуги, могут применяться дугогасительные контакты 9. Дугогасительные контакты, выключаясь последними, служат для защиты главных ножей от обгорания.

Рубильники и переключатели изготавливаются на токи от 100 А и выше, а также на малые токи (5–10 А). На большие токи (свыше 1000 А) рубильники выполняются с несколькими параллельными ножами. Переключатели отличаются от рубильников тем, что они имеют два комплекта неподвижных контактных губок. Ножи переключателей замыкаются с одним или со вторым комплектом и таким образом осуществляют переключение цепей электрической схемы.

Рубильники и переключатели используются для отключения электрических цепей без нагрузки. Рубильники с боковой рукояткой (РБ), с боковым рычажным приводом (РПБ), с центральным рычажным приводом (РПЦ), а также соответствующие переключатели ПБ, ППБ, ППЦ, имеющие дугогасительные устройства, обеспечивают при напряжении 220 В постоянного и 380 В переменного тока коммутацию электрических цепей под нагрузкой в пределах номинального тока. При напряжении 440 В и 500 В отключаемые токи составляют половину номинального.

*Пакетные выключатели и переключатели* предназначены для осуществления сложных переключений одновременно в нескольких электрических цепях, пуска маломощных электродвигателей, а также переключении обмоток статора двигателя со звезды на треугольник.



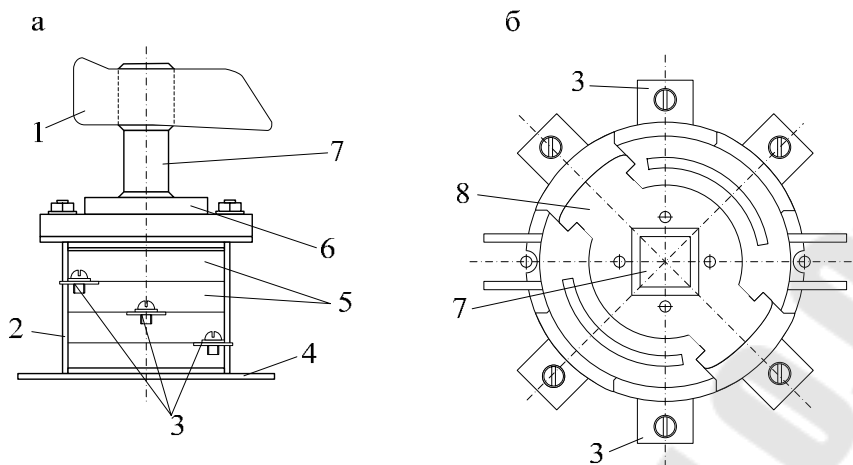


Рис. 2.2. Пакетный выключатель

Пакетный выключатель (рис. 2.2) состоит из набора неподвижных изолирующих колец-пакетов 5, внутри полостей которых расположено отдельное для каждого полюса контактное устройство. Контактное устройство имеет неподвижные контакты 3, закрепленные на кольце-пакете, и подвижные диски с контактными ножами 8, приводимые в движение общим вертикальным валиком выключателя 7. Пакет собирается на скобе 4 и стягивается шпильками 2. Выключатель снабжен пружинным механизмом мгновенного переключения, который помещен в кожухе 6. Этот механизм обеспечивает замыкание и размыкание контактов с большой скоростью, не зависящей от скорости вращения рукоятки 1.

Контактная система каждого полюса создает два разрыва. Дуга гасится в закрытой камере, образованной между пакетами и снабженной дугогасительными газогенерирующими шайбами.

*Пакетные выключатели и переключатели серий ПВ и ПМ* выпускаются одно-, двух- и трехполюсными с числом шайб до семи на номинальные токи от 10 до 400 А постоянного тока при напряжении 220 В и от 6,3 до 200 А переменного тока при напряжении 380 В в открытом, защищенном и герметическом исполнении. Частота отключений не превышает 300 в час.

Для одновременного переключения нескольких электрических силовых цепей при пуске, регулировании частоты вращения, реверсировании, остановке электрических двигателей применяют *контроллеры*. По конструкции переключающего устройства различают кулачковые, барабанные, плоские и магнитные контроллеры.

*Кулачковый контроллер* представляет собой набор контактных элементов, помещенных в общий кожух. Принципиальное устройство и схема работы кулачкового контактного элемента показаны на рис. 2.3.

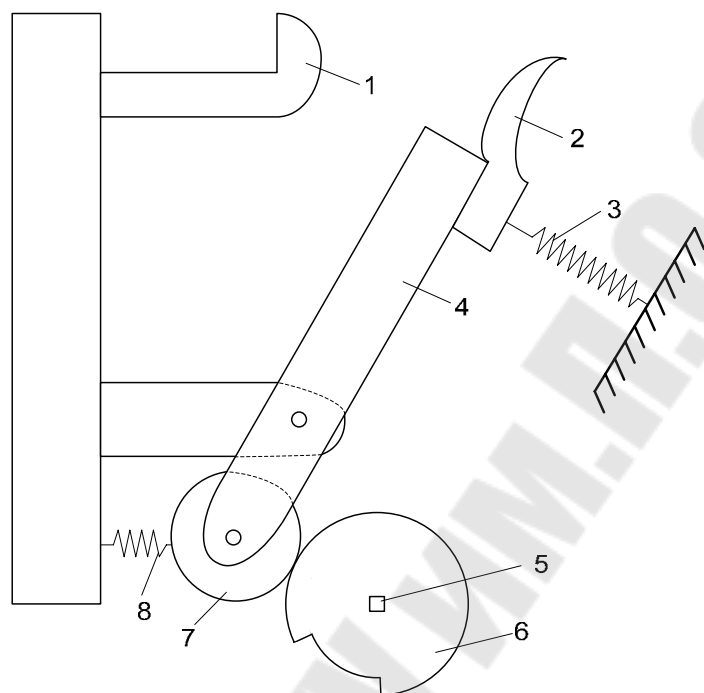


Рис. 2.3. Контроллер

На квадратном приводном валу 5 жестко закреплен фигурный кулачок 6, профиль которого определяет момент замыкания и, размыкания контактов 1 (неподвижного, закрепленного на изоляторе) и 2 (подвижного, закрепленного на контактном рычаге 4). Нижний конец контактного рычага, шарнирно закрепленного на оси и оканчивающегося роликом 7, прижимается к кулачку пружиной 8. При повороте рукоятки или маховика контроллера, связанного с приводным валом, повернется кулачок, и ролик перейдет с профиля большего радиуса на профиль меньшего радиуса. Если ролик находится на участке меньшего радиуса, контакты замыкаются. При переходе ролика на участок большего радиуса контакты размыкаются. Надежность замыкания контактов 1 и 2 обеспечивается пружиной 8. Пружина 3 и форма контактов обеспечивают их перекатывание, что способствует очищению их от нагара и окисления. Для гашения дуги между контактами имеются дугогасительные камеры, поэтому контроллеры обладают высокой отключающей способностью.

Кулачковые контроллеры используются для управления электродвигателями постоянного тока мощностью до 10 кВт и трехфазного переменного тока мощностью до 70 кВт. Они допускают до 600 включений в час.

Для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальном режиме работы используются *контакторы* – электромагнитные аппараты с дистанционным управлением. Они являются основными силовыми аппаратами современных схем автоматизированного электропривода.

Контакторы различаются по роду тока – постоянного и переменного; по числу главных контактов – одно-, двух- и трехполюсные; по конструкции электромагнита – с якорем клапанного типа и прямоходовым якорем; по способу гашения дуги – с магнитным гашением и дугогасительной решеткой; по исполнению контактов – с замыкающими (З), или нормально открытыми (НО), и размыкающими (Р), или нормально закрытыми (НЗ) контактами. Положение контактов электромагнитного аппарата считается нормальным, когда на его катушку не подано напряжение (катушка не возбуждена), а аппарат находится в нормальном рабочем положении.

Контакторы состоят из системы главных контактов, дугогасительной, электромагнитной систем и вспомогательных контактов (блок-контактов). Главные контакты – рычажного или мостикового типа – осуществляют замыкание и размыкание силовой цепи. Они рассчитаны на длительное протекание номинального тока и на большое число включений и отключений.

Дугогасительная система обеспечивает гашение электрической дуги, возникающей при размыкании главных контактов, а электромагнитная – дистанционное управление контактором.

Вспомогательные контакты (блок-контакты) осуществляют переключение в цепях управления, блокировки и сигнализации. Они рассчитаны на длительное протекание тока до 20 А и отключение тока не более 5 А. Контакты выполняются как замыкающими, так и размыкающими, мостикового или рычажного типа.

Работоспособность контакторов определяется нагревом контактов и катушки при длительной работе (допустимые температуры нагрева 80–100°С) и износом деталей при частых включениях и отключениях.

Изготавливаются контакторы на токи до 630 А (отдельные серии – до 3000 А) и напряжения 220, 440, 650, 750 В постоянного тока, 380, 500, 660 В переменного тока промышленной частоты. Частота включений – 600 и 1200–1500 в час.

Контакторы постоянного тока обычно выполняются однополюсными, реже – двухполюсными на номинальные токи главных контактов от 40 до 2500 А. На рис. 2.4. приведена принципиальная схема однополюсного контактора постоянного тока с якорем клапанного типа.

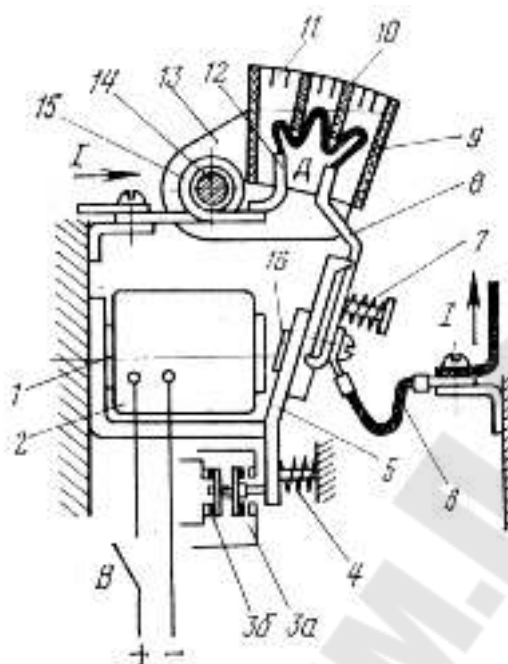


Рис. 2.4. Однополюсный контактор постоянного тока.

На неподвижном сердечнике 1 электромагнита расположена катушка 2. С якорем 5 связан рычаг, несущий на своем конце подвижный главный контакт 8. Ток к подвижному контакту подводится при помощи гибкого соединения 6. При подаче напряжения на катушку якорь притягивается к сердечнику и подвижный контакт замыкается неподвижным главным контактом 12. Пружина 7 обеспечивает необходимое нажатие главных контактов в их рабочем положении. С якорем связаны также блок-контакты мостикового типа (замыкающие 3а и размыкающие 3б). При обесточивании катушки главные контакты размыкаются и якорь с рычагом под действием собственной массы и возвратной пружины 4 приходит в исходное (нормальное) положение. Возникающая при размыкании контактов электрическая дуга  $D$  быстро гасится (магнитное гашение) в щелевой дугогасительной камере 9, имеющей искрогасительную решетку 11 и изоляционные перегородки 10. На рисунке показаны также последовательная катушка 15, размещенная на стальном сердечнике 14 с двумя стальными пластинами-полюсами 13, охватывающими дугогасительную камеру, и прокладка 16 из немагнитного материала, предотвращающая «залипание» якоря после обесточивания катушки. Напряжение срабатывания контакторов постоянного тока составляет 85 % от  $U_n$ , напряжение возврата – около 15 % от  $U_n$ . Коэффициент возврата контакторов постоянного тока относительно мал (около 0,4–0,6). Повысить его до 0,7–0,8 можно путем включения последовательно с катушкой добавочного сопротивления, ко-

торое на время пуска шунтируется размыкающим блок-контактом этого же контактора. Обычно это делается при использовании контактера для защиты установки в условиях пониженного напряжения сети.

Собственное время срабатывания контакторов постоянного тока зависит от их величины и составляет 0,1–0,3 с, а время возврата – 0,07–0,12 с.

*Контакторы переменного тока* промышленной частоты выполняются в основном трехполюсными с замыкающими главными контактами и различным числом блок-контактов.

Конструктивно контакторы переменного тока отличаются от контакторов постоянного тока устройством электромагнита, дугогасительной системы и взаимным расположением узлов. Устройство трехполюсного контактора переменного тока с якорем клапанного типа показано на рис. 2.5. Электромагнитная система контактора состоит из неподвижного сердечника 5, катушки 6 и якоря 8, укрепленного на валике 11. При включении катушки в сеть переменного тока якорь притягивается к сердечнику, валик поворачивается и укрепленные на нем главные подвижные контакты 9 замыкаются с соответствующими неподвижными контактами 4. Ток к подвижным контактам подводится посредством гибкого проводника 12. Необходимое нажатие контактов обеспечивается пружинами 10. Одновременно с главными контактами закрываются замыкающие блок-контакты 1 и открываются размыкающие блок-контакты 13.

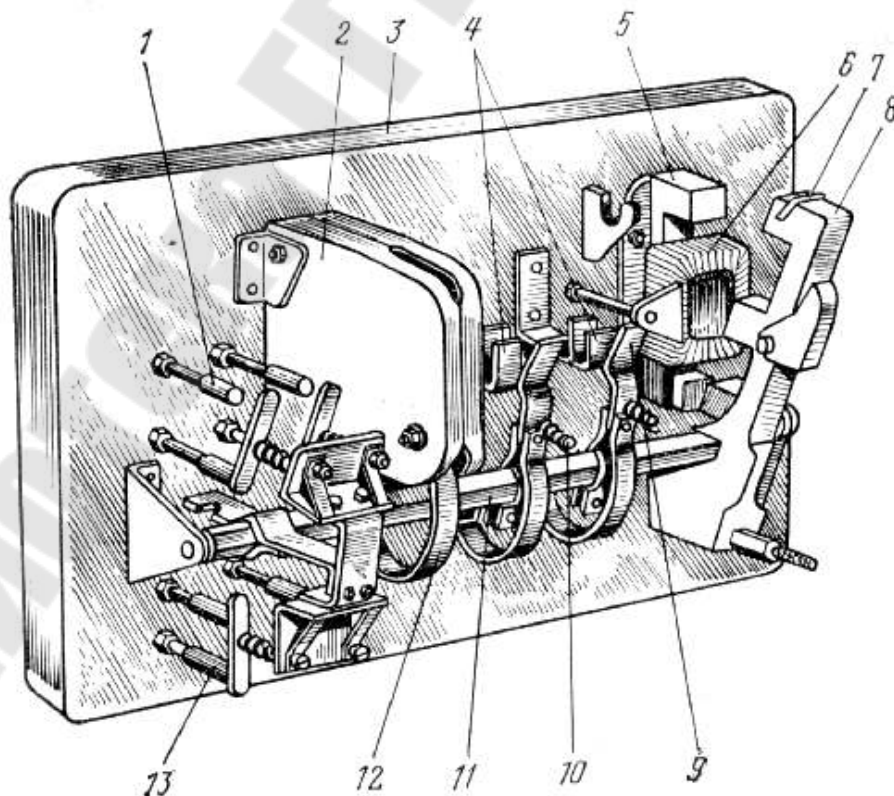


Рис.2.5. Трехполюсный контактор переменного тока

Отключается контактор при размыкании цепи тока катушки. Якорь электромагнита под действием массы подвижной системы и пружин отпадает, силовые контакты и блок-контакты 1 открываются, а блок-контакты 13 закрываются, т. е. контактная система возвращается в исходное положение. Гашение электрической дуги при размыкании главных контактов происходит в дугогасительной камере 2 (на двух других полюсах камеры на рисунке не показаны). Для уменьшения вибрации и гудения контактора на якоре помещен короткозамкнутый виток 7. Все узлы контактора смонтированы на специальном основании 3 из изоляционного материала.

Наряду с контакторами клапанного типа в электроприводах широко применяются компактные прямоходовые контакторы, имеющие магнитную систему броневого типа с якорем, втягивающимся при включении внутрь катушки. Связанные с якорем подвижные контакты при включении контактора перемещаются снизу вверх.

Контакторы переменного тока изготавливаются на номинальные токи главных контактов от 20 до 600 А с числом полюсов от 1 до 5. Напряжение срабатывания составляет 85 % от  $U_n$ , напряжение возврата – 60–70 % от  $U_n$ . Коэффициент возврата контакторов переменного тока достаточно высок (около 0,6–0,7), поэтому они могут обеспечивать защиту электродвигателей от понижения или исчезновения напряжения в сети.

Собственное время срабатывания зависит от величины контактора и колеблется в пределах 0,05–0,07 с, время возврата – 0,02–0,05 с. Допустимая частота включений большинства контакторов – до 600 в час.

*Магнитный пускатель* представляет собой комплектный аппарат с электромагнитным приводом, состоящий из одного или двух контакторов переменного тока (обычно прямоходовых) со встроенным двухполюсным тепловым реле или без него, размещенных в общем кожухе. Встречаются также пускатели без кожуха. Этот аппарат предназначен для дистанционного управления силовыми цепями с током до 200 А при напряжении до 500 В.

По производственному назначению магнитные пускатели разделяются на нереверсивные и реверсивные. Магнитные пускатели обеспечивают нулевую защиту электродвигателя, предотвращая повторное включение его при внезапном появлении исчезнувшего ранее напряжения. Напряжение срабатывания составляет (85 – 105%)  $U_n$ , напряжение возврата – (50 – 60%) $U_n$ . Прямоходовой пускатель (рис. 2.6) имеет мостиковые контакты 2 и 3, с которых дуга выдувается в дугогасительные камеры 1.

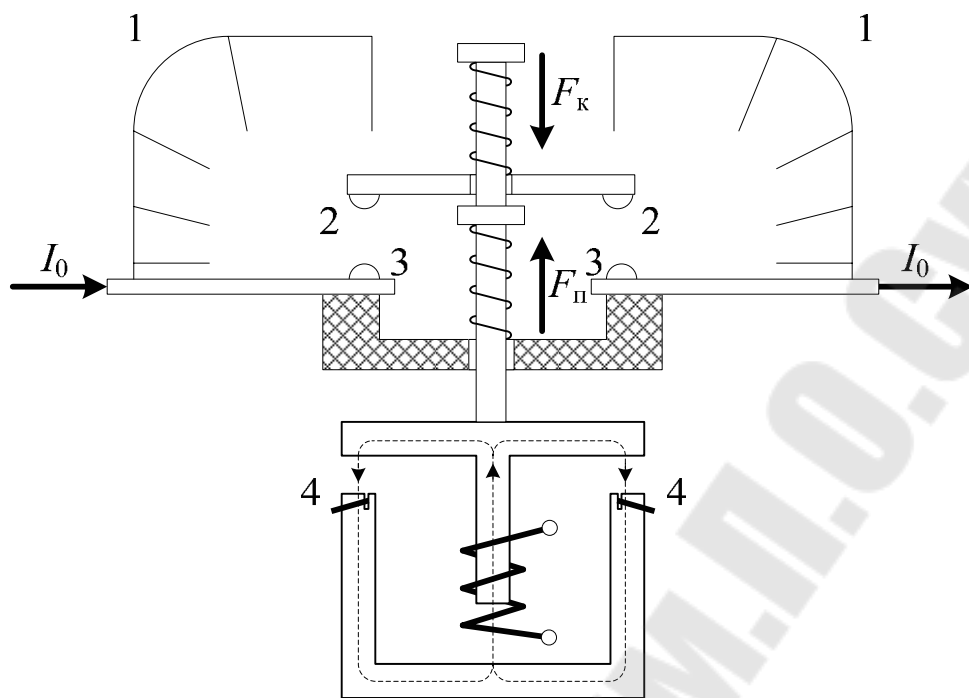


Рис. 2.6. Прямоходовой пускатель

Сила  $F_k$  контактной пружины создает нажатие в замкнутых контактах, возвратная пружина  $F_n$  возвращает подвижную систему аппарата в отключенное состояние, когда будет снято напряжение с катушки. Аппарат включается электромагнитом при подаче напряжения на его катушку 5. На полюсах электромагнита переменного тока устанавливаются короткозамкнутые витки 4, устраняющие вибрацию якоря во включенном положении аппарата.

В отличие от контактора постоянного тока в контакторе переменного тока для уменьшения потерь на вихревые токи применяют шихтованные магнитопроводы и короткозамкнутые витки на полюсах для устранения вибрации якоря. Контактторы переменного тока чаще изготавливают трехполюсными, постоянного тока – однополюсными и двухполюсными. В качестве дугогасительного устройства в контакторах на постоянном токе чаще применяются щелевые камеры, на переменном – чаще дугогасительная решетка.

## 2.2. АППАРАТЫ ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

В схемах автоматического управления электроприводами большое распространение получили различного рода реле, которые представляют собой автоматический аппарат, включающий или отключающий электрические цепи управления под воздействием электрических, тепловых, ме-

ханических или других импульсов. Различают контактные и бесконтактные реле. Контактные реле воздействуют на управляемую цепь посредством замыкания или размыкания контактов. Бесконтактные реле осуществляют управление электрической цепью путем скачкообразного изменения параметра (индуктивности, емкости) исполнительного элемента, включенного в управляемую цепь. По времени срабатывания реле разделяются на безынерционные ( $t_{ср} < 0,001$  с), быстродействующие ( $t_{ср} < 0,05$  с), нормальные ( $t_{ср} = 0,05 - 0,25$  с), реле времени или замедляющие ( $t_{ср}$  или  $t_{отп} > 0,25$  с).

Основным элементом *электромагнитных реле тока и напряжения* является электромагнит постоянного или переменного тока.

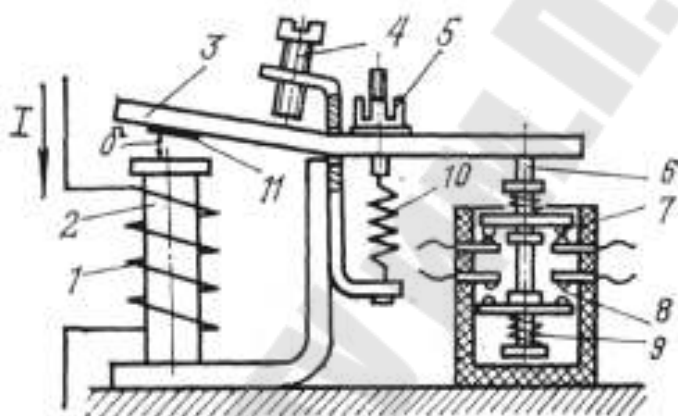


Рис. 2.7. Электромагнитное реле постоянного тока.

*Электромагнитное реле постоянного тока* (рис. 2.7) имеет магнитопровод клапанного типа. Катушка 1 с небольшим числом витков провода большого сечения включается последовательно в главные цепи или в цепи управления с токами от 1,5 до 600 А. Когда ток, протекающий через катушку, достигает значения тока срабатывания  $I_{ср}$ , якорь 3 под действием электромагнитной силы, которая становится больше противодействующей силы возвратной пружины 10, притянется к сердечнику 2. При этом поднимется вверх с якорем траверса 6 контактной системы реле. Размыкающие контакты 7 откроются, а замыкающие 8 закроются. Необходимое нажатие контактов создается пружиной 9. Немагнитная прокладка 11 предотвращает «залипание» якоря после отключения катушки.

Если токовую катушку заменить катушкой напряжения, то данное электромагнитное реле может применяться в качестве реле напряжения постоянного тока. В этом случае катушка имеет большее число витков из проволоки малого сечения. Срабатывание такого реле происходит при достижении напряжения на катушке, равного напряжению срабатывания  $U_{ср}$ .



Когда ток (у реле тока) или напряжение (у реле напряжения) уменьшится до значения тока (напряжения) возврата  $I_B(U_B)$ , якорь под действием возвратной пружины 10 отойдет от сердечника и контакты вернутся в исходное (нормальное) положение. Величину тока (напряжения) срабатывания реле можно регулировать изменением силы натяжения возвратной пружины с помощью гайки 5, а также изменением величины воздушного зазора 6 посредством винта 4. Чем больше вывернут винт, тем больше зазор между якорем и сердечником и тем больше ток (напряжение) срабатывания реле. Натяжением пружины 10 одновременно регулируется ток (напряжение) срабатывания и возврата. Ток (напряжение) возврата регулируется также изменением толщины немагнитной прокладки между якорем и сердечником.

Пределы регулирования напряжения срабатывания реле 20–60%  $U_n$ , напряжения возврата – 7–25%  $U_n$ . Коэффициент возврата реле низкий (порядка 0,3). Такие же примерно пределы регулирования и у реле тока.

Реле тока и напряжения с катушками переменного тока выполняются по аналогичной конструктивной схеме, но с шихтованной (из листовой электротехнической стали) магнитной системой и короткозамкнутым витком на якоре.

В схемах автоматического управления реле тока и напряжения применяются для управления пуском и торможением электродвигателей, а также как защитные аппараты.

В сложных схемах автоматического управления, широко используются *промежуточные реле* (рис. 2.8).

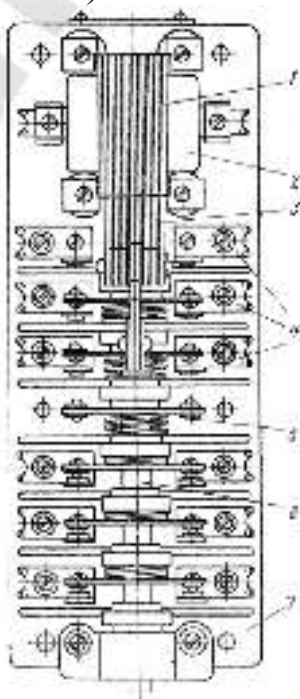


Рис. 2.8. Промежуточное реле

Они позволяют размножить командный сигнал управления по нескольким цепям, изменить величину воздействующего на реле сигнала, осуществить блокировку и сигнализацию в различных электрических цепях. Принцип действия промежуточного реле аналогичен действию реле напряжения. При подаче напряжения на катушку 2 якорь 3 притягивается к сердечнику 1 и перемещает связанный с ним стержень 6 с подвижными мостиковыми контактами 5, которые приходят в соприкосновение с неподвижными контактами 4. При обесточивании катушки контакты возвращаются в исходное положение, так как якорь 3 отпадает под действием своей массы и пружины. Контакты промежуточного реле выполняются более мощными, чем контакты обычного реле, и могут быть замыкающими и размыкающими в зависимости от требований схемы. Все узлы крепятся на изоляционной панели 7.

В промежуточных реле коэффициент возврата и напряжение срабатывания не регулируются. Наибольшее распространение в схемах электроприводов производственных механизмов получили промежуточные реле серий ЭП и РПУ. Осваивается выпуск реле серий РПК, и РПЛ. Находят применение малогабаритные унифицированные промежуточные реле МКУ-48, кодовые и телефонные реле. Реле поставляются с катушками постоянного тока 24, 48, 110, 220 В и катушками переменного тока 12, 24, 36, 110, 127, 220, 380 и 500 В.

Электрическое реле переменного тока *серии РПУ*, схема которого показана на рис. 2.9, состоит из катушки 2, намотанной на неподвижный сердечник 3; подвижной системы, включающей якорь 4, контактную траверсу 6 и контакты 8, 10; пружины 12, удерживающей подвижную систему в исходном состоянии; корпуса 13, в который встроены неподвижные контакты 5, 7, 9, 11 и выводы 1, 14 обмотки катушки реле.

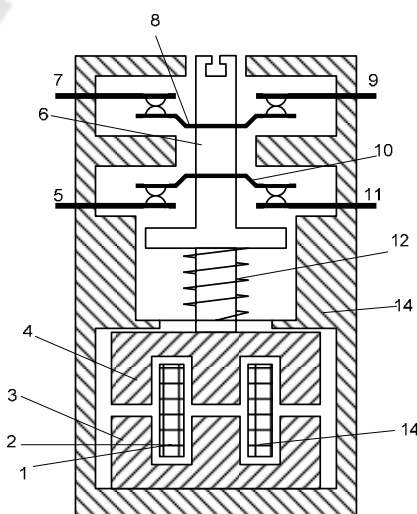


Рис. 2.9. Промежуточное реле серии РПУ

При приложении напряжения к выводам 1, 14 катушки 2 по ней проходит ток, а якорь 4 под действием электромагнитных сил перемещается вниз, вовлекая в движение траверсу 6 с закрепленными к ней контактами 8, 10. При этом размыкается цепь между контактами 7, 9, которая в исходном состоянии была замкнута, и замыкается между контактами 5, 11. в зависимости от конструкции реле может иметь различное количество замыкающих и размыкающих контактов.

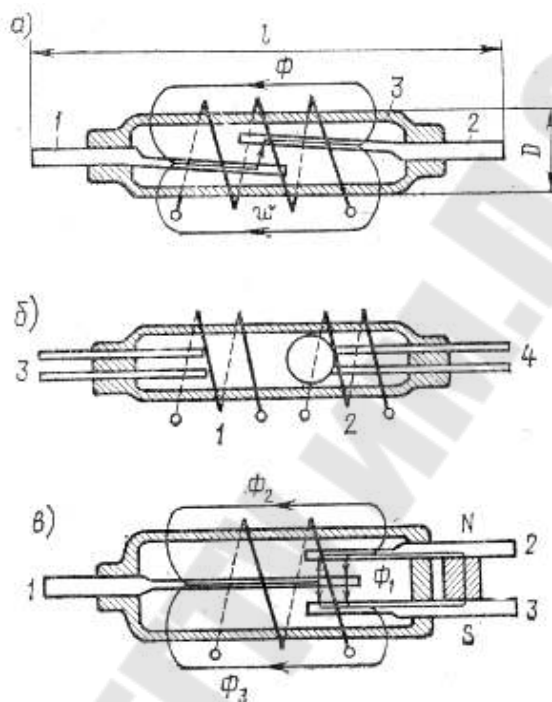


Рис. 2.10. Герконы

Контакты обычных реле находятся в среде атмосферного воздуха. Они загрязняются пылью, парами металлов, покрываются окислами, возникающими при химических реакциях под воздействием электрической дуги, подвергаются влиянию различных атмосферных агрессивных газов, водяных паров и т. д. Все это понижает надежность контактов и их износоустойчивость. Влияние указанных факторов на контакты реле можно значительно ослабить, если поместить их в инертный газ или вакуум. Такие условия создаются в *герконах* – герметизированных или магнитоуправляемых контактах.

На рис. 2.10, а изображено устройство простейшего геркона. В стеклянную капсулу 3, заполненную инертным газом, впаяны токоведущие пружинящие ферромагнитные пластинки 1 и 2. Магнитный поток  $\Phi$ , созданный током в катушке  $w$ , намотанной снаружи капсулы 3, проходит по пластинам 1 и 2 и создает электромагнитную силу притяжения в воздушном зазоре между концами пластин. Пластины 1 и 2 смыкаются и образуют цепь тока. Если снять ток в катушке, то под действием упругих сил

пружины 1 и 2 возвратятся в исходное положение и цепь тока через контакты разорвется. Таким образом, в герконах контактный зазор является и рабочим магнитным зазором, а пластинчатые пружины 1 и 2 проводят магнитный поток и электрический ток.

На рис. 2.10, б изображено устройство геркона с замыкающим ферромагнитным шариком. При подаче тока в управляющую катушку 2 шарик электромагнитной силой притягивается к контактным выводам 4 и замыкает их. Если подать ток в катушку 1, то замыкаются контакты 3.

Устройство поляризованного геркона иллюстрируется рис. 2.10, в. Постоянный магнит  $N-S$  создает поток  $\Phi_1$  в контактных зазорах. Создаваемый управляющей катушкой магнитный поток, пройдя по пластине 1, разветвляется в контактном зазоре на две части:  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ . В верхнем зазоре действует разность потоков ( $\Phi_1 - \Phi_2$ ), в нижнем – сумма ( $\Phi_1 + \Phi_3$ ). Поэтому пластинка 1 притянется к пластинке 3 и замкнутся нижние контакты. Если направление тока в катушке изменить на обратное, то произойдет замыкание верхних контактов 1–2. Следовательно, этот геркон реагирует на направление тока в катушке, т. е. является поляризованным.

С помощью *реле времени* обеспечиваются необходимая выдержка времени при выведении ступеней пусковых реостатов (резисторов), автоматизация отдельных движений механизма в функции времени, ограничение длительности протекания токов перегрузки, времени работы механизма вхолостую. В качестве реле времени используются электромагнитные, пневматические, с часовым механизмом, электродвигательные, полупроводниковые.

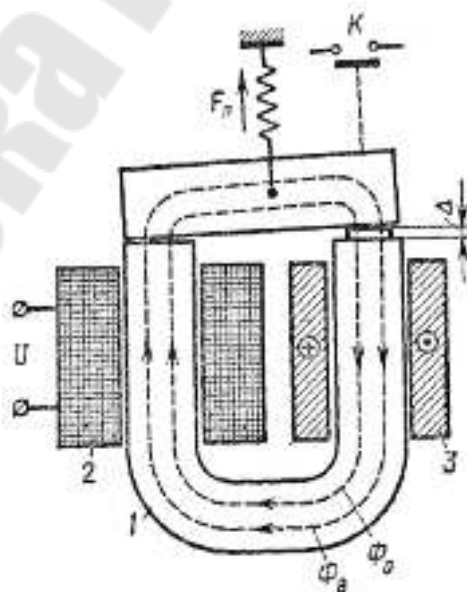


Рис. 2.11. Реле времени с электромагнитным замедлением

Реле времени с электромагнитным замедлением (электромагнитное реле времени) основано на использовании вихревых токов для замедления срабатывания электромагнитной системы.

На магнитопровод 1 (рис. 2.11) надета металлическая (обычно медная) гильза, или шайба 3, равнозначная короткозамкнутой обмотке с одним витком. Когда изменяется основной поток  $\Phi_0$ , созданный током катушки 2, в гильзе 3 наводятся вихревые токи, поток  $\Phi_v$  от которых имеет направление, препятствующее изменению основного потока в соответствии с принципом инерции Ленца. Когда поток  $\Phi_0$  нарастает, поток  $\Phi_v$  имеет противоположное направление, а когда  $\Phi_0$  снижается – направление  $\Phi_v$  совпадает с  $\Phi_0$ .

Электромагнитное реле времени создает наибольшие выдержки времени при отпуске якоря, когда из-за малого магнитного сопротивления воздушных зазоров магнитные потоки в магнито-проводе и скорости их изменения велики. Это реле обычно используется в стадии отпущения.

*Пневматическое реле времени* (рис. 2.12). Реле имеет электромагнитный привод с воздушным замедлителем. При включении катушки электромагнита 1 притягивается его якорь 2.

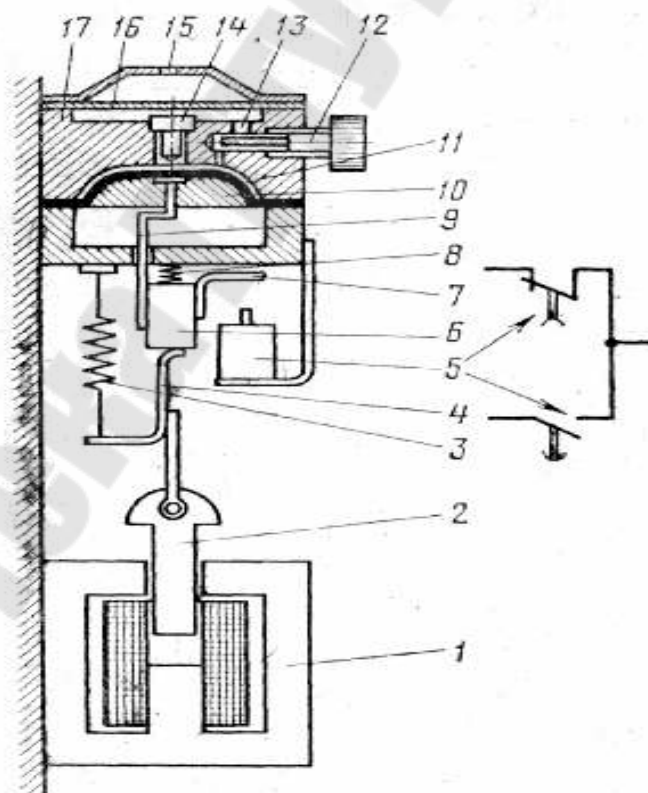


Рис. 2.12. Пневматическое реле времени

Связанный с якорем упор 4 опускается, и колодка 6, подпиравшаяся упором, отталкивается пружиной 8 вниз. При опускании колодки опуска-

ется поршень, над мембраной образуется разреженное пространство, в которое через отверстие 15, суконный фильтр 16, отверстие 13 и канал с регулировочным винтом 12 постепенно проходит воздух из окружающей среды. По достижении колодкой 6 крайнего нижнего положения упор 7 воздействует на контактную систему 5 реле. Выдержку времени реле т. е. величину промежутка времени с момента включения электромагнита до срабатывания контактной системы, можно плавно регулировать винтом 12, изменяя сечение канала, по которому проходит воздух.

При отключении катушки электромагнита якорь 2, упор 4, колодка 6 и шток 9 с поршнем 10 под действием возвратной пружины 3 приходят в исходное положение, воздух из пространства над мембраной вытесняется в окружающую среду через клапан 14. Нажатие на контактную систему прекращается, контакты реле возвращаются в «нормальное» состояние.

Имеются также исполнения реле, в которых электромагнит перевернут и реле дает выдержку времени при отключении электромагнита. Выдержка времени пневматических реле регулируется в пределах от 0,4 до 180 с.

*Реле времени с пьезокерамическим элементом. (рис. 2.13)*

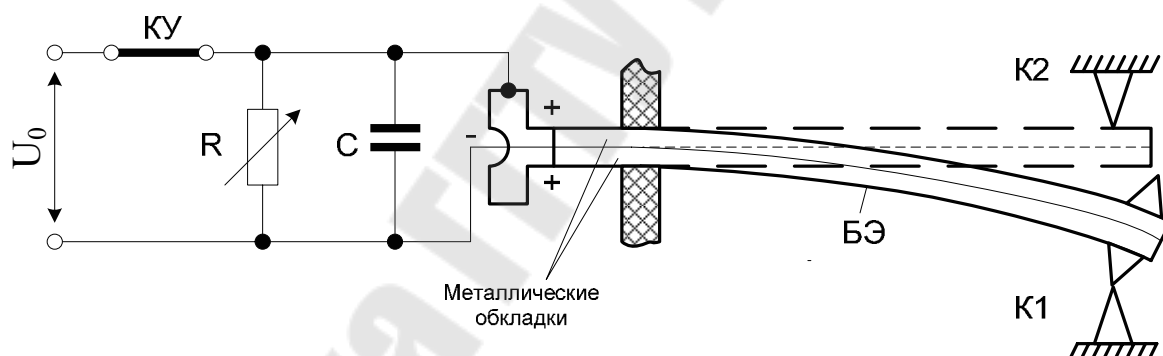


Рис. 2.13. Реле времени с пьезокерамическим элементом

Пьезокерамические материалы обладают свойством изменять свои линейные размеры в электрическом поле. Пьезокерамический биморфный элемент (БЭ) состоит из двух прочно склеенных пластинок, на наружных поверхностях которых, а также в месте их соединения размещены металлические обкладки. Верхний слой элемента в электрическом поле удлиняется, нижний – укорачивается. В результате этого элемент, консольно закрепленный на одном конце, изгибается, что приводит к замыканию контакта  $K_1$ . При снятии электрического поля с обмоток деформация биморфного элемента исчезает, контакт  $K_1$  размыкается, а контакт  $K_2$  замыкается. При замкнутой кнопке управления  $K_U$ , конденсатор  $C$  и обкладки БЭ заряжены до напряжения  $U_0$  и элемент БЭ деформирован. При отключении  $K_U$  начинается разряд емкости  $C$  на сопротивление  $R$ . Напряжение

на обкладках БЭ постепенно снижается и его механическая деформация так же постепенно исчезает.

Допустим, что реле сработает и его контакт  $K2$  замкнется, когда напряжение снизится до величины  $U_{ср\text{аб}}$ , тогда время срабатывания:

$$t_{ср} = R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{U_0}{U_{ср\text{аб}}}\right), с.$$

Для управления электроприводами в функции скорости, а также для обеспечения контроля направления вращения вала управляемого механизма используются реле контроля частоты вращения. Они широко применяются при управлении процессом торможения электродвигателей (особенно при торможении противовключением, когда требуется отключить двигатель при частоте вращения, равной или близкой к нулю, чтобы не допустить его реверсирования), а также в схемах, где требуется осуществить соответствующие блокировки в зависимости от направления вращения двигателя. .

На рис. 2.14 показано *индукционное реле контроля частоты вращения* типа РКС, часто применяемое в схемах торможения противовключением асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Валик 1 реле, на котором закреплен круглый постоянный магнит 2, выполненный из специального железоникелевого сплава, соединяется специальным поводком с эластичной шайбой с валом двигателя или механизма, частоту вращения которого необходимо контролировать.

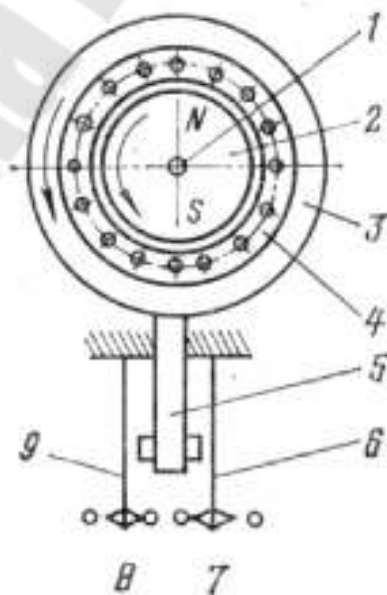


Рис. 2.14. Индукционное реле контроля частоты вращения

На валике реле с помощью отдельных подшипников устанавливается кольцо 3 из листовой стали. На внутренней поверхности кольца уложена обмотка 4, аналогичная обмотке ротора короткозамкнутого асинхронного двигателя. Таким образом, кольцо может свободно вращаться на валике. При вращении контролируемого вала, а следовательно и магнита, в стержнях обмотки наводится ЭДС и появляется ток в результате чего кольцо поворачивается в сторону вращения магнита так же, как ротор асинхронного двигателя начинает вращаться вслед за полем. При повороте кольца толкатель 5 в зависимости от направления вращения вала электродвигателя воздействует на контактные пружины 6 или 9. При большой частоте вращения валика давление толкателя на контактную пружину окажется достаточным для переключения контактов 7 или 8. При уменьшении частоты вращения валика и приближении ее к нулю толкатель перестает нажимать на контактные пружины и контактная система занимает нормальное положение. Регулировка частоты вращения. при которой переключаются контакты реле, осуществляется, изменением затяжки контактных пружин.

Реле предназначено для работы с частотой вращения до 3000 об/мин.

### 2.3. АППАРАТЫ МАКСИМАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

В процессе эксплуатации электродвигателей возможны перегрузки их выше номинальной мощности. При этом ток, потребляемый двигателем, также будет больше номинального, что приведет к нагреву обмотки до недопустимо высокой температуры и может быть причиной преждевременного выхода двигателя из строя. Поэтому следует отключить двигатель от электрической сети, как только его температура превысит установленную величину. Если в цепи возникает короткое замыкание, ее необходимо немедленно отключить.

Защита электродвигателей и другого электрооборудования, а также электрических сетей от токов, значительно превышающих номинальный (при аварийных и ненормальных режимах), осуществляется специальными аппаратами: плавкими предохранителями, максимальными токовыми реле, автоматическими воздушными выключателями, тепловыми токовыми реле. Эти аппараты включаются непосредственно в защищаемую электрическую цепь, контролируют режим ее работы и размыкают цепь при возникновении ненормальных или аварийных режимов.

*Предохранитель* представляет собой коммутационный электрический аппарат, предназначенный для отключения защищаемой цепи посредством расплавления специально рассчитанной плавкой вставки под действи-



ем тока, превышающего определенное значение. После отключения цепи необходимо заменить перегоревшую вставку.

Простота устройства и обслуживания, малые размеры, высокая отключающая способность, небольшая стоимость обусловили широкое применение предохранителей. Низковольтные предохранители изготавливаются на токи от миллиампер до тысяч ампер и на напряжение до 660В.

Несмотря на многообразие конструкций, все предохранители имеют следующие элементы: корпус или несущую деталь, плавкую вставку, контактное присоединительное устройство, дугогасительное устройство или дугогасительную среду.

Основным элементом предохранителя является плавкая вставка, которую изготавливают из свинца, сплавов свинца с оловом, цинка, меди, серебра и др. Вставки из легкоплавких металлов (свинец, цинк—температура плавления 200–420 °С) при плавлении не вызывают сильного нагрева всего предохранителя, однако обладают невысокой проводимостью и имеют значительные сечения, особенно при больших номинальных токах. Широко распространены цинковые вставки. Пары цинка способствуют гашению дуги. Вставки из меди и серебра имеют меньшее сечение, но недостатком их является высокая температура плавления, что при токах перегрузки приводит к сильному нагреву и быстрому разрушению деталей предохранителя. Медные плавкие вставки должны иметь антикоррозийное покрытие во избежание окисления, которое приводит к постепенному уменьшению сечения вставки и несвоевременному ее перегоранию.

Температуру плавления вставок из некоторых тугоплавких металлов (медь, серебро и др.) можно понизить с помощью металлургического эффекта. Он состоит в том, что на середину вставки наплавляется оловянный шарик, который растворяет медь (серебро) при температуре ниже температуры плавления меди (серебра) и ускоряет процесс перегорания вставки.

Ток, который может протекать по плавкой вставке неограниченно длительное время, называется номинальным током плавкой вставки  $I_{ном}$ . При протекании по плавкой вставке тока больше номинального она перегорает, разрывая цепь тока. Время перегорания вставки зависит от кратности протекающего по ней тока по отношению к номинальному.

Наибольший ток, на длительное протекание которого рассчитан предохранитель (патрон и губки стоек), называется номинальным током предохранителя. Он равен наибольшему из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данной конструкции предохранителя.

В предохранитель одного и того же типа можно вставлять плавкие вставки на различные номинальные токи, но не превышающие номинального тока патрона.

Предельное напряжение сети, в которой может применяться данный предохранитель, называется номинальным напряжением предохранителя.

Наибольший ток, который плавкий предохранитель может отключить без каких-либо повреждений или деформаций, препятствующих его дальнейшей работе после смены плавкой вставки, называется предельным током отключения предохранителя.

В *разборных предохранителях* (рис. 2.15, а) цинковая плавкая вставка 2 фигурной формы помещена в фибровую трубку 1. Дуга горит в закрытом объеме и не выходит за пределы трубки. Повышение давления способствует гашению дуги, так как при этом сокращаются расстояния, на которых взаимодействуют частицы нагретого газа. Теплопроводность газа увеличивается, а длина свободного пробега частиц уменьшается. При горении дуги часть материала (фибры) стенок переходит в газообразное состояние (примерно 50% СО<sub>д</sub>, 40% Н<sub>а</sub> и 10% паров Н<sub>а</sub>О). Условия гашения дуги улучшаются, так как при этом повышается давление в трубке и условия теплопередачи от дуги (водород имеет высокий коэффициент теплопроводности).

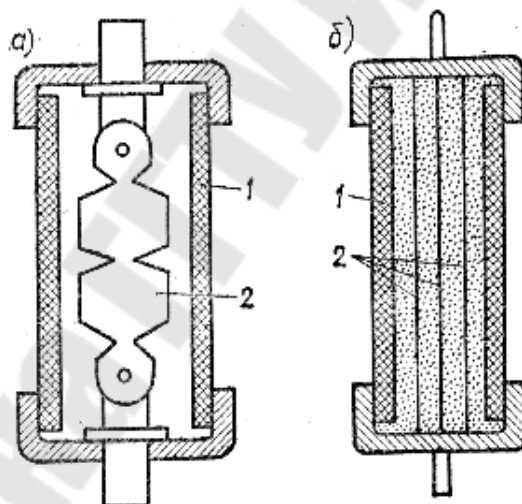


Рис. 2.15. Разборные и засыпные предохранители

При отключении больших токов давление внутри трубки может достигать сотен атмосфер, что недопустимо из-за недостаточной прочности трубки, фигурная плавкая вставка дает возможность снизить давление до допустимых величин, так как она ограничивает ток короткого замыкания и уменьшает выделение энергии в дуге. При коротком замыкании узкий перешеек вставки начинает плавиться прежде, чем ток короткого замыкания достигнет установившегося значения. Сопротивление расплавленного перешейка и возникшей дуги ограничивает ток короткого замыкания.

Когда узкие перешейки вставки перегорают, то при отключении токов перегрузки ее широкие металлические части падают вниз. Металл уже не

плавится и не засоряет своими парами дуговой промежуток. Как известно, увеличение содержания паров металла, имеющих низкий в сравнении с газом потенциал ионизации, ведет к росту электропроводности дугового промежутка и ухудшению условий гашения электрической дуги. Наличие узких перешейков вставки снижает также перенапряжение при гашении дуги, так как полная длина дугового промежутка и соответствующее ей сопротивление будут вводиться в цепь не сразу, а ступенями. Узкие перешейки вставки позволяют уменьшить температуру нагрева предохранителя в режиме протекания номинального тока вследствие того, что сопротивление фигурной плавкой вставки меньше сопротивления вставки, узкой по всей длине.

В *засыпных предохранителях* (рис. 2.15, б) параллельно включенные медные или серебряные плавкие вставки 2 круглого сечения размещены внутри изоляционной трубки 1 с мелкозернистым наполнителем. Возникающая при плавлении вставок электрическая дуга тесно соприкасается с мелкими зернами наполнителя, интенсивно охлаждается, деионизируется и поэтому быстро гасится.

Параллельные плавкие вставки позволяют лучше использовать объем наполнителя. При одинаковом суммарном поперечном сечении вставок результирующая боковая поверхность охлаждения будет больше в случае применения нескольких вставок, что улучшает условия их охлаждения. В неиндуктивной цепи дуга возникает на участке последней сгоревшей вставки, поэтому паров металла в дуге немного и условия ее гашения улучшаются. В индуктивной цепи после перегорания последней вставки могут пробиться газовые промежутки на других параллельных участках вследствие возникших перенапряжений.

В качестве наполнителя обычно используется сухой кварцевый песок с содержанием  $\text{SiO}_2$  не менее 99% и мел ( $\text{CaCO}_3$ ). В засыпных предохранителях применяются фарфоровые и отчасти керамические трубки. Особенно прочны в механическом, тепловом и электрическом

*Тепловые токовые реле* осуществляют защиту электродвигателей от недопустимого перегрева при длительных перегрузках, составляющих 110–120% величины номинального тока. Кроме того, эти реле защищают двигатели переменного тока при обрыве одного из проводов питающей линии, так как в этом случае ток в двух неповрежденных фазах оказывается выше номинального. Схема одного из простейших тепловых реле, встраиваемых в магнитные пускатели, показана на рис. 2.16, а. Реле состоит из нагревательного элемента 1, внутри которого расположена биметаллическая пластинка, состоящая из двух сваренных полос 2 и 3 из металлов с различными температурными коэффициентами линейного рас-

ширения (например, железоникелевый сплав с малым коэффициентом линейного расширения и медь, имеющая большой коэффициент линейного расширения).

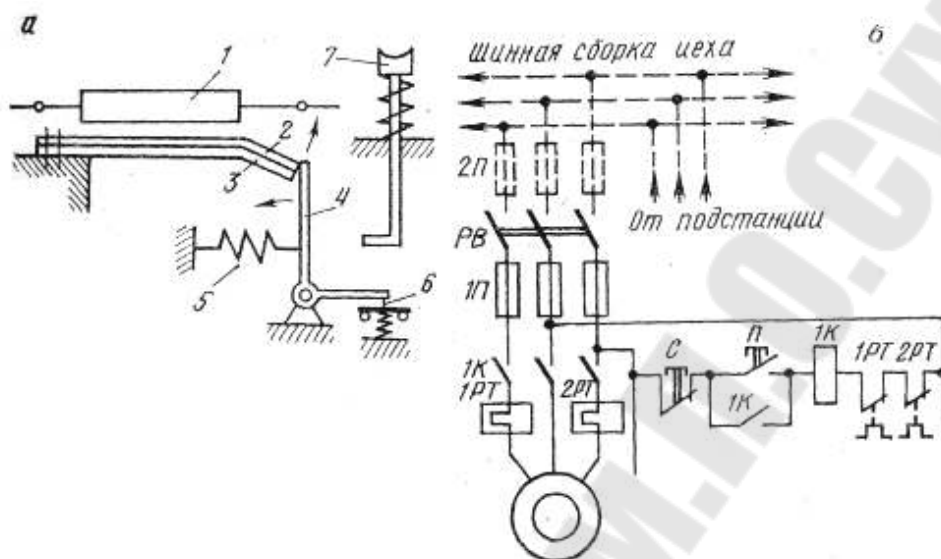


Рис. 2.16. Тепловые токовые реле.

Нагревательный элемент включается в защищаемую электрическую цепь последовательно с электроприемником. При нормальном режиме работы двигателя тепло, выделяемое нагревательным элементом, слабо нагревает биметаллическую пластинку. При токах, превышающих номинальные биметаллическая пластинка вследствие значительного нагрева изгибается в сторону металла с малым коэффициентом линейного расширения (на рисунке вверх). Когда сила тока будет достаточно велика, нагретая биметаллическая пластинка изогнется так, что ее свободный конец выйдет из зацепления и освободит рычаг 4, который под действием пружины 5 повернется и разомкнет контакты 6. Размыкание контактов является сигналом о перегрузке или командой на отключение перегруженной цепи. Контакты реле рассчитаны на протекание малых токов (около 2 А), поэтому они используются только для подачи команды на отключение аппарату с более мощными контактами, например контактору. В этом случае в цепь катушки контактора включают блок-контакт теплового реле.

Реле возвращается в исходное положение (после остывания биметаллической пластинки) при помощи кнопки возврата 7.

Время срабатывания теплового реле зависит от величины тока перегрузки (аналогично времени срабатывания теплового расцепителя автомата).

Правильно выбранное и отрегулированное реле срабатывает при перегрузке двигателя по току на 20 % в течение 20 мин и не будет срабатывать при пуске двигателя или кратковременных толчках нагрузки.

Тепловое реле защищает электродвигатель от перегрузки надежнее, чем предохранитель, плавкая вставка которого перегорает только при нагрузке, превышающей нормальную примерно на 40–60 %.

Недостатком теплового реле является зависимость срабатывания уставки от окружающей температуры, поэтому реле следует устанавливать в тепловых условиях, одинаковых с защищаемым двигателем.

*Автоматические воздушные выключатели (автоматы)* совмещают функции рубильника и защитного аппарата. Они предназначены для автоматического размыкания электрической цепи при возникновении в ней перегрузок, коротких замыканий, а также в случае исчезновения или снижения напряжения. Они применяются также для нечастых включений и отключений вручную силовых цепей электродвигателей.

В сетях трехфазного переменного тока применяются трехполюсные автоматы, в сетях постоянного и однофазного тока – двух- и однополюсные.

Автоматы снабжаются одним или несколькими расцепителями, отключающими их главные контакты. По принципу действия расцепители бывают электромагнитные, тепловые и комбинированные. Электромагнитный расцепитель представляет собой максимальное токовое реле, тепловой – электротепловое реле. Комбинированный расцепитель состоит из электромагнитного и теплового расцепителей. Автоматические выключатели могут также иметь нулевой, или дистанционный, расцепитель и блок-контакты, используемые в схемах автоматики.

На рис. 2.17 приведена схема однополюсного автоматического выключателя (во включенном состоянии) с комбинированным расцепителем. В защищаемую цепь с током  $I$  после главных контактов 1 автомата включены два расцепителя – тепловой и электромагнитный.

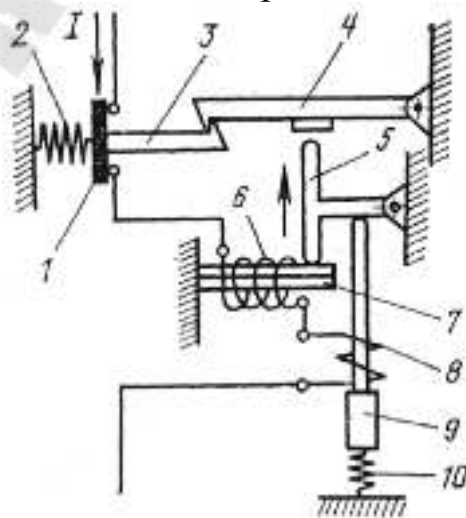


Рис. 2.17. Автоматический выключатель

При срабатывании теплового расцепителя (при токе перегрузки) свободный конец биметаллической пластинки 7 под действием тепла нагревателя 6 изогнется вверх, а при срабатывании электромагнитного расцепителя (при токе короткого замыкания) его сердечник 9, преодолев усилие пружины 10, втянется в катушку 8. В обоих случаях рычаг 5 повернется вверх и приподнимет защелку 4. Освободится рычаг 3, и под действием отключающей пружины 2 контакты автомата разомкнутся. Для эффективного гашения дуги контакты автомата помещены в дугогасительную камеру. Включается и выключается автомат кнопкой или рукояткой. Автоматы имеют механизм свободного расцепления, который обеспечивает автоматическое отключение при аварийном режиме защищаемой цепи, даже, если его кнопка или рукоятка будет во включенном положении. Двух- и трехполюсные автоматы снабжаются расцепителями в каждом полюсе и отключают одновременно все цепи при срабатывании любого из расцепителей. Иногда в автоматах применяют тепловые расцепители без нагревателей. В этом случае ток пропускается непосредственно через биметаллическую пластинку.

Расцепители допускают плавную настройку на различные токи срабатывания. Ток срабатывания электромагнитного расцепителя регулируется изменением степени нажатия пружины 10, а теплового расцепителя – изменением положения винта, ввернутого в свободный конец биметаллической пластинки.

К автоматам предъявляются следующие требования:

1. Токоведущая цепь автомата должна пропускать номинальный ток в течение сколь угодно длительного времени. Режим продолжительного включения для автомата является нормальным. Токоведущая система автомата может подвергаться воздействию больших токов к.з. как при замкнутых контактах, так и при включении на существующее к.з.
2. Автомат должен обеспечивать многократное отключение предельных токов к.з., которые могут достигать сотен кА. После отключения этих токов автомат должен быть пригоден для длительного пропускания номинального тока.
3. Для обеспечения электродинамической и термической стойкости энергоустановок, уменьшения разрушений и других последствий, вызываемых токами к.з., автоматы должны иметь малое время отключения. С целью уменьшения габаритных размеров распределительного устройства и повышения безопасности обслуживания необходима минимальная зона выхлопа нагретых и ионизированных газов в процессе гашения дуги.
4. Элементы защиты автомата должны обеспечивать необходимые токи и времена срабатывания и селективность.

В автомате на ток более 200 А (рис. 2.18) токоведущая цепь имеет главные 3 и дугогасительные 1 контакты. Включение автомата может производиться вручную рукояткой 12 или электромагнитом 4. Звенья 6, 7 и упор 13 образуют механизм свободного расцепления. Отключение автомата может производиться рукояткой 12 или с помощью тепловых и электромагнитных разделителей 5, 8, 10, 11. Необходимая скорость расхождения контактов обеспечивается пружиной 9. Гашение дуги происходит в камере 2.

Основными параметрами автоматов являются: номинальный длительный ток, номинальное напряжение, предельный ток отключения.

Под собственным временем отключения автомата понимают время от момента, когда ток достигает значения тока срабатывания  $I_{ср}$ , до начала расхождения его контактов. После расхождения контактов возникающая электрическая дуга должна быть погашена за наименьшее время с перенапряжением, не представляющим опасности для остального оборудования.

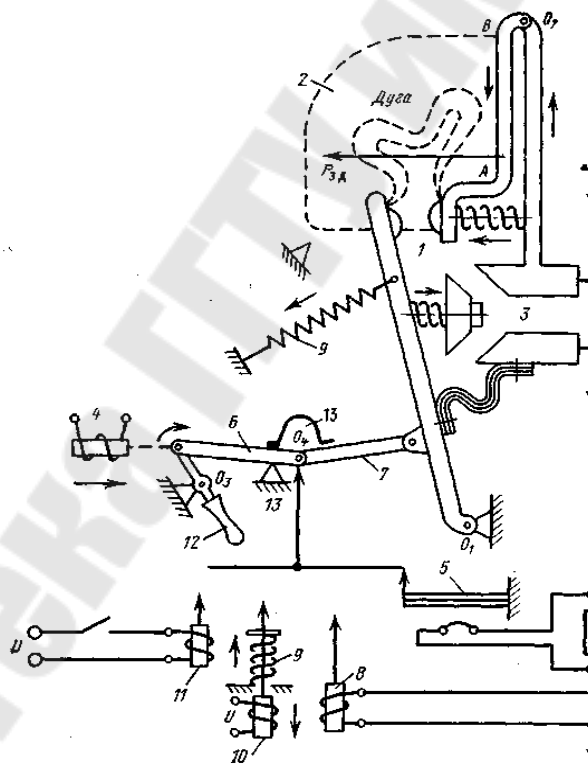


Рис.2.18. Автоматический выключатель.

*Механизмы свободного расцепления* (Рис. 2.19). Механизм свободного расцепления выполняет следующие функции:

- передает движение от привода к контактам и удерживает их во включенном положении;
- освобождает контакты при отключении автомата;
- сообщает контактам скорость, необходимую для гашения дуги;

– фиксирует контакты в отключенном положении и подготавливает автомат для нового включения (при срабатывании какой-либо из защит и после снятия аварийной ситуации не возможно автоматическое включение автомата, а только вручную). Это необходимо из соображений правил по ТБ.

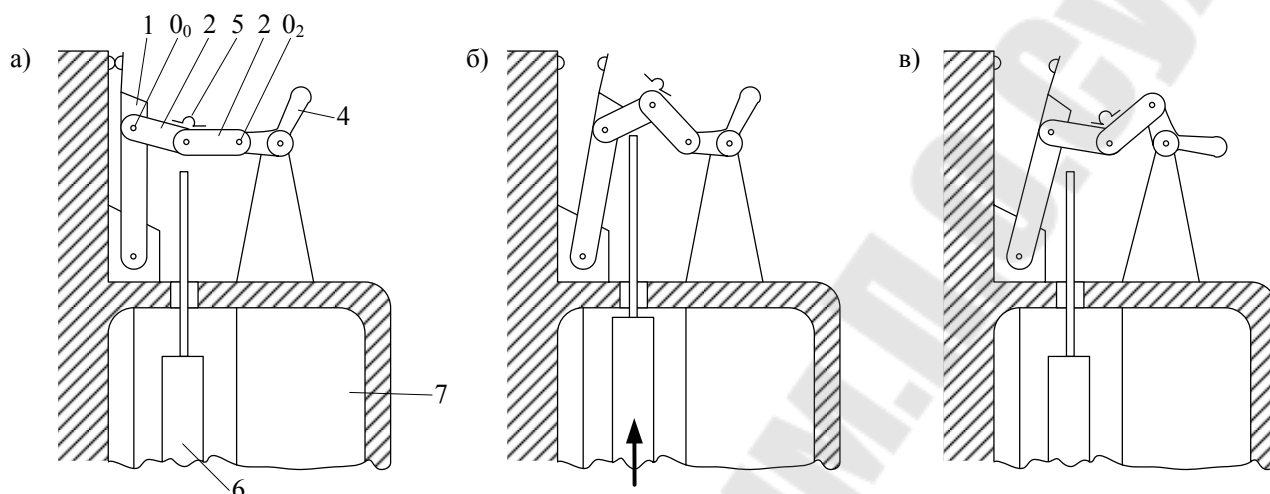


Рис. 2.19. Принцип устройства механизма свободного расцепления автомата: а – включен; б – процесс расцепления; в – подготовка к включению после автоматического отключения

Принцип действия: при нормальном положении при включении рычаги 2 и 3 действуют на один жесткий рычаг, т.к. центр шарнира 0, соединяющего звенья лежит ниже линии, соединяющей точки 0<sub>1</sub> и 0<sub>2</sub>. Упор 5 не дает возможности этим звеньям сложиться. При КЗ в цепи якорь 6 электрический магнит 7, обтекаемого большим током КЗ, резко перемещается вверх и ломает рычаги. Приводной рычаг 4 и контактный рычаг 1 оказываются не связанными, т.е. расцепленными. Под действием отключающей пружины (на рисунке не показана), плоской контактной пружины (на ней находится контакт) и массы подвижных частей контакты размыкаются и происходит отключение автомата. Теперь рукоятка привода может свободно вращаться против движения часовой стрелки, но вхолостую. Для подготовки к новому включению необходимо повернуть рукоятку 4 до отката по часовой стрелке. Звенья 2 и 3 сложатся, и при обеспечении электрического магнита снова составляет жесткий рычаг.

*Быстродействующие автоматы* (рис. 2.20). Если собственное время отключения автомата  $\geq 0.01$ с., то автомат называется обыкновенным (небыстродействующим). В этом случае к моменту размыкания контактов цепи ток КЗ достигает установившегося значения. Такой автомат не обеспечивает токоограничение. В быстродействующих автоматах



$t_{\text{откл}}=0,002\div 0,008$  с. и к моменту расхождения контактов ток не достигает установившегося значения. Такой автомат, как правило, отключает ток, значит меньше установившегося тока КЗ.

Благодаря этому облегчается работа самого автомата, уменьшается термическая и динамическая нагрузка аппарата.

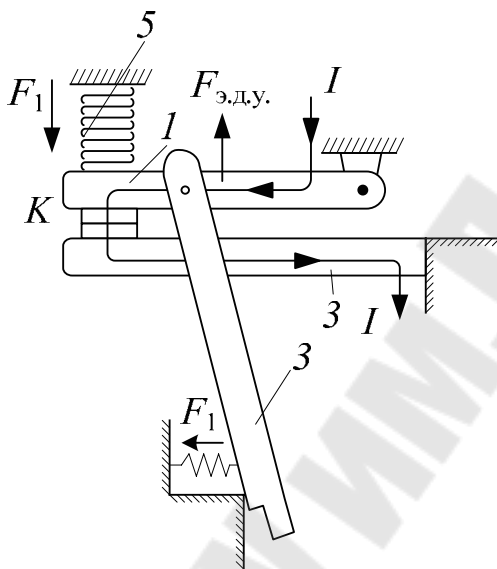


Рис. 2.20. Быстродействующий автомат

Принцип действия устройства: для мгновенного отключения цепи используются электродинамические силы  $F_{\text{э.д.у.}}$ . Токоведущие детали 1 и 2 расположены близко друг к другу, благодаря чему при прохождении токов  $I$  увеличивающихся силы электродинамического взаимодействия между ними. При увеличении тока  $F_{\text{э.д.у.}}$  увеличивается. Если механический момент, создаваемый электродинамическими силами превышает противодействующий момент  $F_1$  от пружины 5, то деталь 1 переместится в верхнее положение, контакты  $K$  разомкнутся и выключение разорвет цепь тока  $I$ . При этом защита 3 под действие силы  $F_2$  пружины встанет на выступ 4 и автомат останется в отключенном состоянии.

*Температурная защита двигателей* (рис. 2.21). В ряде случаев контроль превышения температуры отделяющих частей электродвигателя (обмоток, магнитопровода, подшипников) осуществляется с помощью терморезисторов (полупроводниковых резисторов). Основные особенности терморезистора заключается в том, что при внешнем нагреве до определенной температуры сопротивление его падает.

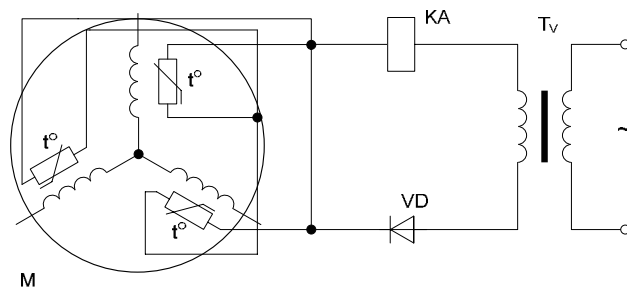


Рис. 2.21. Температурная защита двигателя.

Принцип действия: при терморезисторе, заложенное в обмотку статора двигателя  $M$  соединены параллельно и включены в цепь катушки чувствительного маломощного реле постоянного тока. Цепь защиты питается током от трансформатора через диод. При нормальном режиме работы двигателя и нормальной температуре его обмоток сопротивление терморезистора велико. Следовательно по катушке реле ток протекать не будет. Если температура обмотки в одной из фаз превысит допустимую, сопротивление соответственно терморезистору резко уменьшится, что вызовет срабатывание реле и отключением двигателя.

## 2.4. КОМАНДНЫЕ АППАРАТЫ.

Командный аппарат представляет собой устройство, предназначенное для подачи команды о начале, прекращении или протекании в определенном порядке какой-нибудь операции или режима, -является входным устройством дискретного (прерывистого) действия. К нему относятся контактные и бесконтактные аппараты: кнопки управления, командоконтроллеры, универсальные переключатели, ключи управления, путевые и конечные выключатели и переключатели, бесконтактные командоконтроллеры.

Контактные командоаппараты могут приводиться в действие ручным или ножным приводом (кнопки управления, командоконтроллеры, универсальные переключатели и ключи управления), двигательным приводом (командоконтроллеры), производственным механизмом (путевые. и конечные выключатели и переключатели). Они выполняются с фиксацией положения, когда после прекращения воздействия коммутационное положение аппарата остается неизменным, и с самовозвратом, когда после прекращения воздействия его контакты возвращаются в исходное (нулевое) положение.

Кнопки управления и командоконтроллеры предназначены для подачи команд в схему управления. На рис. 2.22,а показано устройство двухцепной кнопки управления (кнопочного элемента). Контактный механизм кнопки смонтирован в изоляционном корпусе 4, который при помощи гайки 1 может крепиться на пульте, приборной доске и т. п. При нажатии штифта 5 контактный мостик 2 смещается вниз, в результате чего верхний контакт размыкается, а нижний замыкается. По окончании воздействия на штифт последний под действием пружины 3 возвращается в исходное положение, поэтому мостик 2 с помощью пружины 6 опять занимает верхнее положение. Контакты кнопки приходят в «нормальное» состояние.

Из нескольких кнопочных элементов комплектуются кнопочные станции на две, три и более кнопок.

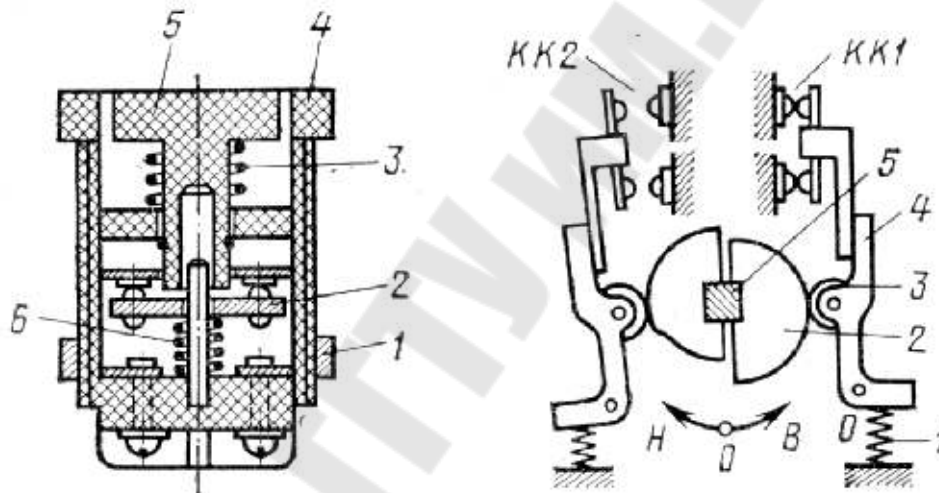


Рис. 2.22. Командные аппараты: а – кнопка управления; б - командоконтроллер

На рис. 2.22,б приведена схема устройства кулачкового командоконтроллера. На валу 5, который поворачивается при помощи рукоятки, насажены кулачки 2. При повороте вала кулачки воздействуют на ролики 3 контактных рычагов 4, несущих на своих концах подвижные контактные мостики. Если ролик находится на выступе кулачка, то соответствующий подвижный контакт отходит от неподвижного контакта. Когда ролик попадает во впадину кулачка, подвижный контакт под действием пружины 1 прижимается к неподвижному. Рукоятка командоконтроллера фиксируется в заданных положениях.

Изображенный на рис. 2.22,б вариант отвечает схеме работы двухцепного командоконтроллера на три положения. В нулевом положении рукоятки замкнут контакт *KK1*, контакт *KK2* разомкнут.

При повороте рукоятки на  $90^\circ$  в положение *B* контакт *KK1* размыкается, контакт *KK2* остается разомкнутым. При повороте рукоятки на  $90^\circ$  в положение *H* оба контакта будут замкнуты.

Регулирование командоконтроллеров отличается от нерегулируемых формой кулачка 2. На валу 5 укрепляется диск из изоляционного материала 6. По окружности диска расположены отверстия для крепления кулачков 7. Момент замыкания и размыкания нерегулируемых в широких пределах с большой точностью.

Командоконтроллеры используются для работы в цепях до 400 В постоянного и 500 В переменного напряжения. большей частью это аппарат ручного или ножного управления. Командоконтроллер может иметь и двигательный электропривод, тогда их называют программными реле.

Конструкции командоконтроллеров разнообразны. Они отличаются числом кулачковых шайб, числом положений, приводом (с фиксацией и без фиксации, с самовозвратом). Нерегулируемые командоконтроллеры выполнены с числом кулачковых шайб до 6-7 (12-14 цепей), регулирование двигательным приводом – с числом шайб 12 (24 цепи).

Кулачковые шайбы могут выполняться регулируемыми (рис. 2.23).

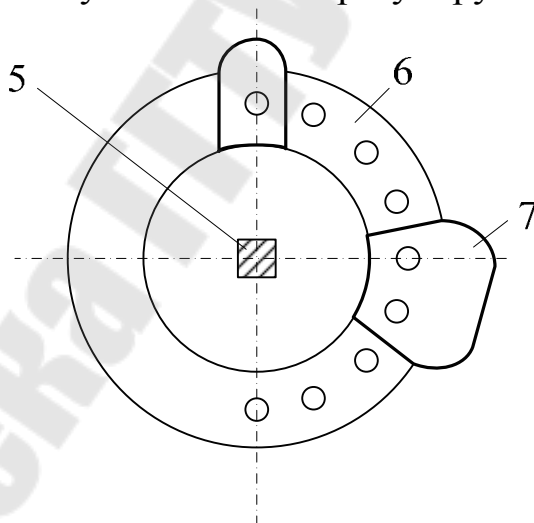


Рис. 2.23. Регулируемый кулачек

Для облегчения чтения схем с управлением командоконтроллером чертежи снабжаются диаграммой включения контактов командоконтроллеров в зависимости от положения его рукоятки.

Обозначение контакта на сх.	№ контакта аппарата	Назад				0	Вперед			
		4	3	2	1		1	2	3	4
КК0	1-2	-	-	-	-	X	-	-	-	-
КК1	3-4	-	-	-	-	-	X	X	X	X
КК2	5-6	X	X	X	X	-	-	-	-	-
КК3	7-8	X	X	X	-	-	-	X	X	X
КК4	9-10	X	X	-	-	-	-	-	X	X
КК5	11-12	X	-	-	-	-	-	-	-	X

Диаграмма состояния контактов командоконтроллера  
X – контакт замкнут.

Диаграмма состояния контактов командоконтроллера имеет следующий вид:



*Путевые и конечные выключатели.* Выключатели осуществляют выключение в цепях управления в зависимости от пути, проходимого управляемым механизмом (путевые выключатели), или от положения управляемого либо защищаемого механизма (конечные выключатели). По конструкции различают нажимные (кнопочные), рычажные и вращающиеся выключатели.

*Нажимные путевые и конечные выключатели* (рис. 2.24) устроены и работают аналогично кнопкам управления. В большинстве случаев такие выключатели имеют замкнутые 1 и разомкнутые 2 контакты, которые соответственно замкнутыми и разомкнутыми контактными мостиками, закрепленными на штоке 3. Воздействие на шток от упора механизма пре-

доставляется штифтом 4, один конец которого выходит из корпуса 5 наружу, а другой упирается внутри в торец штока.

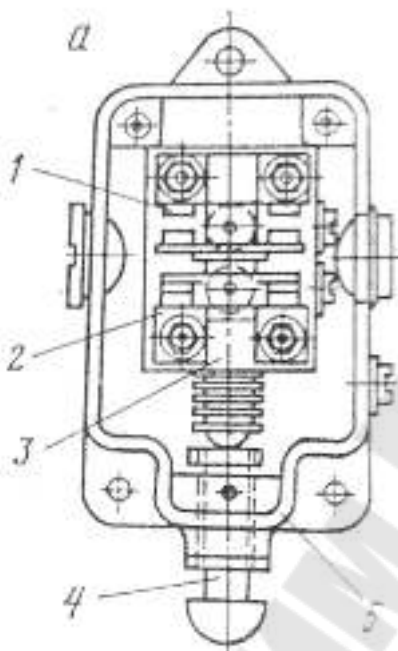


Рис. 2.24. Конечный выключатель

Вращающиеся путевые и конечные выключатели применяются в тех случаях, когда рабочий орган, в зависимости от которой выключатель должен действовать, имеет вращательное движение. Переключение контактов в этих выключателях осуществляется кулачковыми шайбами. Каждый из кулачков закреплен по шайбе в любом положении.

*Рычажные переключатели (выключатели)* (рис. 2.25). При достижении упором  $У$  механизма ролика 1, укрепляемого на рычаге 2, поворачивая рычаг и связанный с ним фасонный кулачок 3.

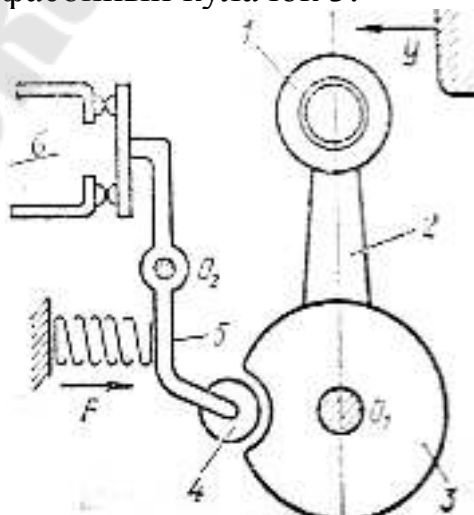


Рис. 2.25. Рычажный переключатель

Выступ кулачка набегает на ролик 4 и поворачивает деталь 5 вокруг оси  $O_2$  по часовой стрелке. Связанный с рычагом контактный мостик 6 отходит от неподвижных контактов вправо, и контакты размыкаются. Когда упор  $Y$  переходит в исходное положение, элементы контактов выключателя под действием пружин  $F$  придут в первоначальное положение.

### 3. ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

#### 3.1. ВЫБОР ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Предохранители и плавкие вставки к ним выбираются по номинальному напряжению току. Номинальное напряжение предохранителей и вставок должно равняться или быть больше номинального напряжению сети, к которой подключена защищаемая нагрузка, т.е.  $U_{Н.ПР} \geq U_C$ , где  $U_{Н.ПР}$  – номинальное напряжение предохранителя;  $U_C$  - номинальное напряжение сети.

Для надежной работы предохранителя как защитного аппарата при выборе номинальных токов плавкой вставки и патрона необходимо выполнить следующие основные условия:

– номинальный ток плавкой вставки по нагреву должен быть равен или несколько больше номинального тока защищаемой установки ( $I_{н.вст} \geq I_{н.уст}$ );

– плавкая вставка не должна перегорать при пуске, кратко временных допустимых для двигателя перегрузок и в них не должно происходить старение под действием этих токов;

– должна быть обеспечена селективность срабатывания, т.е. чтобы при нарушении нормального режима работы отключался бы только поврежденный участок электрической сети. Это осуществляется за счет того, что время срабатывания плавких вставок, стоящих выше в цепи, увеличивается на одну-две ступени по отношению к предохранителям, установленным ниже по схеме от пункта питания.

При пуске *асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором* пусковой ток может достигать значения  $7 \cdot I_{ном}$ . По мере разгона пусковой ток падает до значения, равного номинальному току электродвигателя. Поэтому для защиты таких электродвигателей от коротких замыканий величина плавкой вставки предохранителя должна удовлетворять условию

$$I_{н.вст} \geq \frac{I_{пуск}}{\alpha} = \frac{I_{н.дв} \cdot K_I}{\alpha},$$

где  $I_{пуск}$  – пусковой ток двигателя;

$I_{н.дв}$  – номинальный ток двигателя;

$K_I$  – кратность пускового тока;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий условия пуска и длительность пускового периода:  $\alpha=2,5$  – нормальные (легкие) условия пуска, время разгона от 2 до 5с (привода металлорежущих станков с относительно небольшой инерцией механизма),  $\alpha=1.6-2.0$  – тяжелые условия пуска, время разгона больше 10с (мощные вентиляторы, компрессоры, насосные установки, прессы, дробилки или работа в повторно-кратковременном режиме).

Если предохранитель стоит в линии, питающей несколько двигателей, плавкую вставку рекомендуется выбирать по двум условиям

$$I_{н.вст} \geq \sum I_{н.дв},$$
$$I_{н.вст} \geq \frac{\sum I_{н.дв} + (I_{н.дв} - I_{н.дв})}{\alpha},$$

где  $\sum I_{н.дв}$  – сумма номинальных токов двигателей, подключенных к линии;

$(I_{н.дв} - I_{н.дв})$  – разность пускового и номинального токов берется для двигателя, у которого она наибольшая.

Ток плавкой вставки выбирается по большей из величин, определенных по этим формулам.

Плавкие вставки предохранителей для защиты *асинхронных двигателей с фазным ротором и двигателей постоянного тока*, если они запускаются с помощью пусковых реостатов (кратность пускового тока не превышает 2,5), рекомендуется выбирать в соответствии с формулой

$$I_{н.вст} \geq (1,15 \div 1,25) I_{н.дв}.$$

Для двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, за номинальный принимается ток в режиме ПВ=25%.

Для расчета плавкой вставки при использовании предохранителей для защиты *цепей управления* релейно-контакторной схемы поступают следующим образом. Рассматривают режимы работы релейно-контакторной схемы (пуск, торможение, реверс) и определяют наиболее тяжелый режим, т.е. включено наибольшее количество электрических аппаратов. Плавкая вставка выбирается по условию

$$I_{н.вст} \geq I_{н.маx} + \sum I_p,$$

где  $I_{н.маx}$  – пусковой ток катушки наибольшего аппарата;

$\sum I_p$  – сумма рабочих токов катушек аппаратов, кроме наибольшего, включенных в наиболее тяжелом режиме.



### 3.2. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВОЗДУШНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ (АВТОМАТОВ)

Автоматы могут иметь электромагнитный, тепловой, комбинированный и другие расцепители. Для защиты электродвигателя, работающего в повторно-кратковременном режиме, номинальный ток электромагнитного расцепителя принимается равным току двигателя в режиме ПВ=25%.

Выбор автомата в общем случае осуществляется по двум условиям

$$U_{н.а} \geq U_{н.с}, \quad I_{н.а} \geq I_{н.с},$$

где  $U_{н.а}$  и  $U_{н.с}$  – соответственно номинальные напряжения автомата и сети;

$I_{н.а}$ ,  $I_{н.с}$  – соответственно номинальные токи автомата и нагрузки.

Ток уставки электромагнитного расцепителя

– для АД с короткозамкнутым ротором

$$I_{уст.эм} \geq (1,5 \div 1,8)I_{н.дв};$$

– для АД с фазным ротором и двигателем постоянного тока (ДПТ)

$$I_{уст.эм} \geq (2,5 \div 3)I_{н.дв}$$

– для группы короткозамкнутых двигателей

$$I_{уст.эм} \geq (1,5 \div 1,8) \left[ \sum I_{н.дв} + (I_{н.дв} - I_{н.дв}') \right];$$

– для групп двигателей с фазным ротором

$$I_{уст.эм} \geq (1,5 \div 2)I'_{н.дв} + \sum I_{н.дв},$$

где  $I_{уст.эм}$  – ток уставки электромагнитного расцепителя;

$I_{н.дв}$ ,  $I_{н.дв}$  – соответственно, пусковой и номинальный токи, двигателя;

$(I_{н.дв} - I_{н.дв})'$  – разность пускового и номинального токов для двигателя, у которого она наибольшая;

$I'_{н.дв}$  – номинальный ток двигателя с наибольшим пусковым током.

Ток срабатывания (отсечки)  $I_{ср.эм}$  электромагнитного расцепителя проверяется по максимальному кратковременному току  $I_{кр}$  линии (установки)

$$I_{ср.эм} \geq 1,25I_{кр}.$$

Выбор автомата с электромагнитным расцепителем для защиты цепи управления релейно-контакторной схемы аналогичен выбору предохранителей.

Ток уставки теплового расцепителя и теплового реле

– при питании одного электродвигателя

$$I_{уст.тр} \geq I_{н.дв};$$

– при затяжных пусках двигателя

$$I_{уст.тр} \geq (1,2 \div 1,25)I_{н.дв};$$

– с учетом температуры окружающей среды

$$I_{уст.тр} = I_{н.дв} / \beta,$$

где  $\beta = 1 + 0,006(40 - t_{окр.})$  – коэффициент;

$t_{окр.}$  – температура окружающей среды.

Автоматические выключатели с *комбинированным расцепителем* выбирается по двум условиям

$$I_{н.тр} \geq (1,15 - 1,25)I_{н.дв};$$

$$I_{ср.эм.(отс)} \geq 1,25I_{н.дв},$$

где  $I_{н.тр}$  – номинальный ток уставки теплового расцепителя;

$I_{ср.эм.(отс)}$  – ток срабатывания электромагнитного расцепителя (отсечка).

### 3.3. ВЫБОР ТОКОВЫХ РЕЛЕ.

Выбор *максимально – токовых реле* (для защиты от токов короткого замыкания) осуществляется из условия  $I_{н.р} \geq I_{н.дв}$ , а для двигателей, работающих в повторно-кратковременном режим при ПВ=25% (рис. 4.1)

$$I_{н.дв} = I_{н.дв25},$$

где  $I_{н.р}$ ,  $I_{н.дв}$  – номинальные токи реле и защищаемого двигателя;

$I_{н.дв25}$  – номинальный ток двигателя, работающий при ПВ=25%.

Уставка реле по току срабатывания для АД с короткозамкнутым ротором должна быть  $I_{уст} \geq (1,3 - 1,5)I_{н.дв}$ , где  $I_{н.дв}$  – пусковой ток двигателя.

Для защиты двигателей с фазным ротором и ДПТ ток срабатывания выбирается из условия

$$I_{уст} \geq (2,25 \div 2,5)I_{н.дв}.$$

Если несколько двигателей с фазным ротором питаются через общий ввод (рис. 3.1), уставка реле КА1 и КА2 должна быть  $I_{уст} \geq (2,25 - 2,5)I_{н.дв}$ .

Уставка реле КА0 выбирается из условия

$$I_{уст} = (1,25 - 1,5)I_{н.дв25}^1 + \sum I_{н.дв25},$$

где  $I_{н.дв25}^1$  – номинальный ток двигателя наибольшей мощности (режим ПВ=25%);

$\sum I_{н.дв25}$  – сумма номинальных токов всех двигателей, защищаемых реле КА0.

Если токовое реле используется в качестве *реле управления полем*, то

$$I_{вкл} \approx I_1, \quad I_{отк} = I_{вкл} / K_{\epsilon},$$

где  $I_{отк}$ ,  $I_{вкл}$  – токи включения и отключения реле,

$K_e$  – коэффициент возврата реле (должен быть как можно больше);

$I_1$  – максимально допустимый ток на пусковой диаграмме.

Если токовое реле используется в качестве *реле отрыва поля*, то

$$I_{окт} = 0,9I_{e\min}, I_{e\min} < I_{вкл} \leq 0,85I_{вн},$$

где  $I_{вн}$  – номинальный ток возбуждения двигателя;

$I_{e\min}$  – ток возбуждения при ослабленном магнитном потоке двигателя.

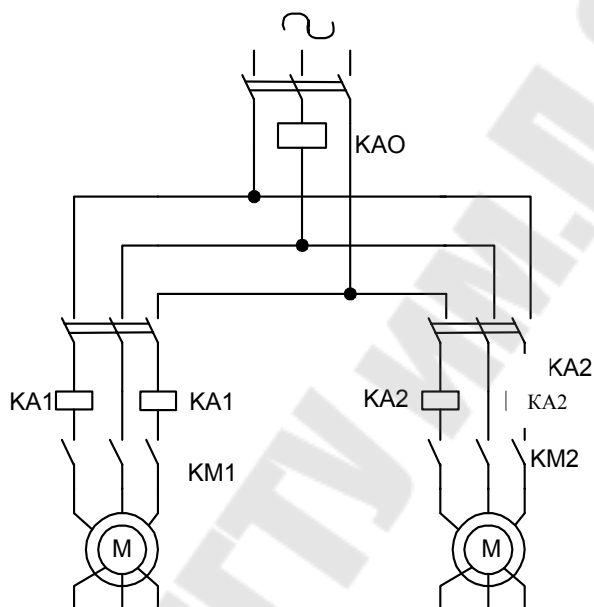


Рис. 3.1. Схема включения максимальных токовых реле

### 3.4. ВЫБОР КОНТАКТОРОВ И ПУСКАТЕЛЕЙ.

Выбор силовых аппаратов следует производить с учетом следующих основных требований: напряжение и минимальный ток аппаратов должны соответствовать напряжению и допустимому длительному току цепи, аппараты должны без повреждений включать пусковой ток нагрузки и отключать полный рабочий ток, а также без разрушения допускать отключение пускового тока.

При выборе контакторов или пускателей, если не учитывать количество главных и вспомогательных контактов, продолжительность включения, число включений в час и требуемую электрическую износостойкость контактов, следует руководствоваться условиями:

$$I_{нк} \geq I_{н.дв}, I_{нв} \geq I_n,$$

где  $I_{нк}$  – номинальный ток главных контактов контактора;

$I_{нв}$  – допустимый ток включения контактора;

$I_{н.дв}$ ,  $I_n$  – номинальный и пусковой токи двигателя.

Если окажется, что число вспомогательных контактов в выбранном контакторе или пускателе меньше числа контактов данного аппарата в принципиальной электрической схеме, то для «размножения» контактов выбирают промежуточное реле. Катушка этого реле получает питание от одного контакта уже выбранного аппарата, а все недостающие контакты этого аппарата заменяются на соответствующие контакты промежуточного реле.

Пример: ряд электродвигателей (рис. 3.2) питается от общего распределительного щита (РЩ); условие пуска легкие; до включенном состоянии могут одновременно находиться четыре электродвигателя; могут одновременно запускаться два электродвигателя; данные электродвигателей и расчетные токи предохранителей представлены в таблице 3.1

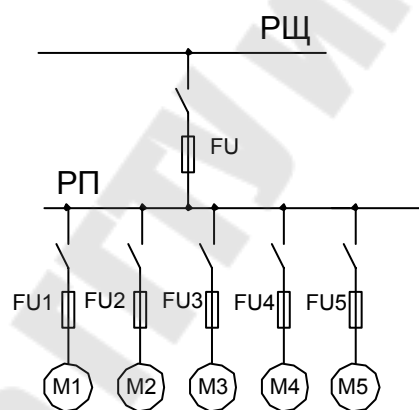


Рис. 3.2. Электрическая схема

Таблица 3.1. Исходные данные

№ п/п	Тип ЭД	Паспортные данные				Расчет		
		Рн., кВт	In., А	Iп./In.	Iп., А	In. вст., А		In.пр., А
						расч.	выбр.	
М1	А 32-2	1,7	3,7	6	22,2	8,9	10	15
М2	А 41-2	2,8	5,8	5,5	31,9	12,8	15	15
М3	А 62-2	20	38	6	228	91,2	100	200
М4	А 51-4	4,5	9,4	6	56,5	22,6	25	60
М5	А 62-6	10	21,5	4,5	96,8	38,7	60	60

Решение.

1. Выбор предохранителей FU1-FU5.

$$I_{н.вст} = \frac{I_{II}}{2,5} = \frac{22,5}{2,5} = 8,9 \text{ А};$$

Принимаем вставку с номинальным током 10 А. Номинальный ток предохранителя выбираем из  $I_{н.пр.} \geq I_{н.вст.}$  ( $I_{н.пр.} = 15 \text{ А}$ )

Аналогично находим номинальные токи вставок FU1-FU5.

2. Выбор предохранителя FU6.

$$I_{н.вст.FU6} \geq I_{H.M2} + I_{H.M3} + I_{H.M4} + I_{H.M5} = 5.8 + 38 + 9.4 + 21.5 = 74.7 \text{ А};$$

$$I_{н.вст.FU6} \geq \frac{\sum I_{H.дв} + (I_{II} - I_{H.дв})^1}{2,5} = \\ = \frac{[(5,8 + 38 + 9,4 + 21,5)] + [(228 - 38) + (96,8 - 21,5)]}{2,5} = 136 \text{ А}$$

Выбираем плавкую вставку на 160 А.

3. Выбранные предохранители надо проверить на КЗ непосредственно у двигателя.

В данном случае берется:

- двухфазное КЗ (при изолированной нейтрали).
- однофазное КЗ на землю (нейтраль заземления).

Для правильной работы необходимо:

$$I_{к.з.} / I_{н.вст.} \geq 3 \div 4,$$

где  $I_{к.з.}$  - ток короткого замыкания у двигателя;

Значение  $I_{к.з.}$  зависит от активного и реактивного сопротивления источника питания (трансформатора) и питающих линий.

Для одно-, двух-, трехфазного короткого замыкания ток  $I_{к.з.}$  равен соответственно:

$$I_{K3(1)} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\phi 0}}, \quad I_{K3(2)} = \frac{U_{НОМ}}{2 \cdot Z_{\phi}}, \quad I_{K3(3)} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\phi}},$$

Полные фазные сопротивления равны

$$Z_{\phi} = \sqrt{(\sum R_{\phi} + R_T)^2 + (\sum X_{\phi} + X_T)^2};$$

$$Z_{\phi 0} \approx \sqrt{(\sum R_{\phi} + R_{\phi 0})^2 + (\sum X_{\phi} + X_{\phi 0})^2} + Z_{T1};$$

где  $R_{\phi}, X_{\phi}$  – активное и индуктивное сопротивление проводников фазы;

$R_{\phi 0}, X_{\phi 0}$  - активное и индуктивное сопротивление нейтрального провода;

$R_T, X_T$  - активное и индуктивное сопротивление фазы трансформатора;

$Z_{T1}$  – полное расчетное сопротивление трансформатора при замыкании на землю.

Выбранные предохранители проверяют на: а) кратность тока короткого замыкания и б) отключающую способность.

а) Для М5 
$$I_{K3} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Phi 0}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 0,851} = 258 \text{ А};$$

$\frac{I_{K3}}{I_{H.вст}} = \frac{258}{60} = 4,3 \rangle (3 \div 4)$  - что говорит о надежной работе предохранителя;

б) Ток  $I_{к.з.} = 258 \text{ А}$ , а предельный ток отключения FU5. ПР2-60 равен 3500 А, что подтверждает правильность выбора.

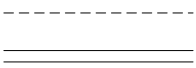
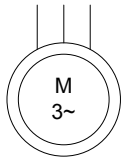
4. Наибольший ток должен отключать предохранитель FU6 при коротком замыкании на распределительной панели РП

$$I_{K3(3)} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Phi}},$$


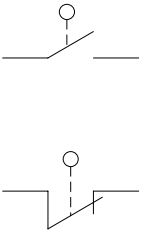
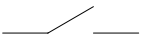
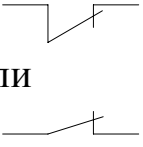
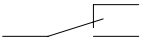
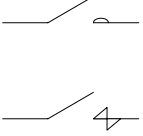
где  $Z_{\Phi}$  включает сопротивление силового трансформатора  $Z_T$  и сопротивление линии  $Z_L$  от щита РЩ до РП.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

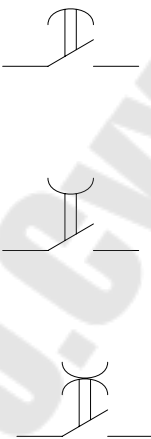
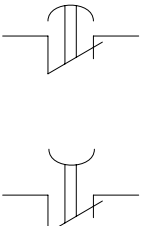
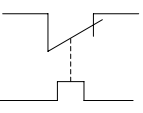
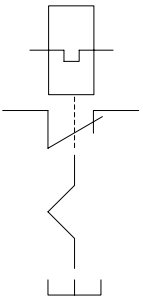
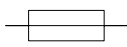

Условные графические обозначения, используемые в схемах электропривода

№	Наименование элемента	Условное обозначение
1	Линия механической связи: а) общее обозначение б) при небольшом расстоянии между устройствами	
2	Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором	

3	Асинхронный двигатель с фазным ротором (трехфазный)	
4	Двигатель постоянного тока: а) с параллельным возбуждением  б) с независимым возбуждением	
5	Катушка контактора, магнитного пускателя, реле	
6	Катушка электротеплового реле	
7	Кнопочный выключатель: а) с замыкающим контактом  б) с размыкающим контактом	

8	<p>Выключатель с автоматическим срабатыванием максимального тока:</p> <p>а) однополюсный</p> <p>б) трехполюсный</p>	
9	<p>Выключатель путевой:</p> <p>а) с замыкающим контактом</p> <p>б) с размыкающим контактом</p>	
10	Контакт замыкающий	
11	Контакт размыкающий	 <p>ИЛИ</p>
12	Контакт переключающий	
13	<p>Силовой контакт контактора:</p> <p>а) без дугогашения</p> <p>б) с дугогашением</p>	



14	Контакт реле времени замыкающий с выдержкой: а) при срабатывании  б) при отпуске  в) при срабатывании и отпуске	
15	Контакт реле времени размыкающий с выдержкой: а) при срабатывании  б) при отпуске	
16	Контакт электротеплового реле при способе изображения реле	
17	Реле электротепловое с возвратом посредством нажатия кнопки	
18	Плавкий предохранитель	
19	Лампа накаливания	

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Первая буква кода	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Буквенный код
1	2	3	4
A	Устройства (общее обозначение)	Усилители, приборы телеуправления	
B	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот, аналоговые или многозарядные преобразователи или датчики для указания или измерения	Громкоговорители	BA
		Многосекционный элемент	BB
		Детектор ионизирующих излучений	BD
		Сельсин приемник	BE
		Телефон (капсюль)	BF
		Сельсин датчик	BC
		Тепловой датчик	BK
		Фотоэлемент	BL
		Микрофон	BM
		Датчик давления	BP
		Пьезоэлемент	BQ
		Датчик частоты вращения (тахогенератор)	BR
		Звукосниматель	BS
		Датчик скорости	BV
C	Конденсаторы	–	–
D	Схемы интегральные микросборки	Схема интегральная аналоговая	DA
		Схема интегральная цифровая, логический элемент	DD
		Устройства хранения информации	DS
		Устройства задержки	DT
E	Элементы разные (осветительные устройства, нагревательные элементы)	Нагревательный элемент	EK
		Лампа осветительная	EL
		Пиропатрон	ET
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия	FA

F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретный элемент защиты по току инерционного действия	FP
		Предохранитель плавкий	FU
		Дискретный элемент защиты по напряжению (разрядник)	FV
G	Генераторы, источники питания, кварцевые осцилляторы	Батарея	GB
H	Устройства индикационные и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации	HA
		Индикатор символьный	HG
		Прибор световой сигнализации	HL
K	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое	BA
		Реле указательное	KH
		Реле электротепловое	KK
		Контактор, магнитный пускатель	KM
		Реле времени	KT
		Реле напряжения	KV
L	Катоды индуктивности, дроссели	Дросель люминесцентного освещения	LL
M	Двигатели постоянного и переменного тока	—	—
P	Приборы, измерительное оборудование	Амперметр	PA
		Счетчик импульсов	PC
		Частотометр	PF
		Счетчик активной энергии	PI
		Счетчик реактивной энергии	PK
		Омметр	PR
		Регистрирующий прибор	PS
P	Приборы, измерительное оборудование	Часы, измеритель времени действия	PT
		Вольтметр	PV
		Ваттметр	PW

Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования)	Выключатель автоматический	QF
		Короткозамыкатель	QK
		Разъединитель	QS
R	Резисторы	Терморезистор	RK
		Потенциометр	RP
		Шунт измерительный	RS
		Вариатор	RU
S	Устройства коммутации в цепях управления, сигнализации и измерительных	Выключатель или переключатель	SA
		Выключатель кнопочный	SB
		Выключатель автоматический	SF
		Выключатели, срабатывающие от различных воздействий:	
		уровня	SL
		давления	SP
		положения	SQ
		Частоты вращения	SR
температуры	SK		
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока	TA
		Электромагнитный стабилизатор	TS
		Трансформатор напряжения	TV
U	Устройства связи. Преобразователи электрических величин в электрические	Модулятор	UB
		Демодулятор	UD
		Дискриминатор	UI
		Преобразователь частоты	UZ
V	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	Диод, стабилитрон	VD
		Прибор электровакуумный	VL
		Транзистор	VT
		Тиристор	VS
W	Линии и элементы СВЧ	Антенна	WA
		Ответвитель	WE
		Короткозамыкатель	WK
		Вентиль	WS

X	Соединения контактные	Токосъемщик, контакт скользящий	XA
		Штырь	XP
		Гнездо	XS
		Соединение разборное	XT
		Соединитель высокочастотный	XW
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит	YA
		Тормоз с электромагнитным приводом	YB
		Электромагнитный патрон или плита	YC
		Муфта с электромагнитным приводом	YH
Z	Устройства оконечные, фильтры, ограничители	Ограничитель	ZL
		Фильтр кварцевый	ZQ

## Литература

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты / А.А. Чунихин. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 718с.
2. Елкин В.Д. Электрические аппараты / В.Д. Елкин, Т.В. Елкина. – Минск: Издательство «Дизайн ПРО», 2003. – 78с.
3. Таев И.С. Электрические аппараты управления / И.С. Таев. – Москва: Высшая школа, 1984. – 223с.
4. Родштейн Л.А. Электрические аппараты / Л.А. Родштейн. - Ленинград: Энергоиздат, 1981. – 303с.
5. Сацункевич М.Ф. Электрические аппараты управления и защиты / М.Ф. Сацункевич. – Минск: Беларусь, 1984. – 92с.
6. Нихайлов О.П. Электрические аппараты и средства автоматизации / О.П. Михайлов, В.Е. Стоколов. – Москва: Машиностроение, 1982. – 179с.
7. Красин В.П. Электрические аппараты автоматического управления / В.П. Красин. – Минск: Вышэйшая школа, 1970. – 302с.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Классификация и основы теории электрических аппаратов.....	3
1.1. Классификация электрических аппаратов.....	3
1.2. Основные элементы электрических аппаратов и их устройство...4	
1.2.1. Электрические контакты.....	5
1.2.2. Дугогасительные устройства.....	10
1.2.3. Электромагнитные механизмы.....	11
2. Краткие сведения об электрических аппаратах и релейно- контакторных схемах управления электроприводами.....	14
2.1. Аппараты силовых цепей.....	15
2.2. Аппараты цепей управления.....	23
2.3. Аппараты максимальной защиты.....	32
2.4. Командные аппараты.....	42
3. Выбор электрических аппаратов.....	47
3.1. Выбор предохранителей.....	47
3.2. Выбор автоматических воздушных выключателей (автоматов)...49	
3.3. Выбор токовых реле.....	50
3.4. Выбор контакторов и пускателей.....	51
Приложение 1.....	54
Приложение 2.....	58
Литература.....	62

# **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ**

## **Пособие**

**для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
дневной и заочной форм обучения**

Составитель: **Вепер** Леонид Владимирович  
**Логвин** Владимир Васильевич  
**Хабибуллин** Дамир Абдулхаевич

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного документа  
учебно-методических материалов 24.06.09.

Рег. № 51Е.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)  
<http://www.gstu.gomel.by>