

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Электроснабжение»

В. Д. Елкин

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДО 1 КВ

КУРС ЛЕКЦИЙ

**по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2008

УДК 621.316.5(075.8)
ББК 31.264я73
Е51

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 1 от 18.09.2006 г.)*

Рецензент: канд. тех. наук, доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
Ю. Н. Колесник

Елкин, В. Д.
Е51 Электрические аппараты до 1 кВ : курс лекций по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» днев. и заоч. форм обучения / В. Д. Елкин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 96 с. – Систем. требования: РС 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://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-985-420-691-2.

Рассмотрены типы систем заземления оборудования, меры электробезопасности, разработанные на основании МЭК и межгосударственных стандартов.
Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.316.5(075.8)
ББК 31.264я73

ISBN 978-985-420-691-2

© Елкин В. Д., 2008
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2008

Тема 1. Введение в дисциплину «Электрические аппараты до 1 кВ»

- Исторические сведения.
 - Классификация электрических аппаратов.
 - Основы теории электрических аппаратов.
 - Материалы для контактов.
 - Гашение электрической дуги.
-
-

Исторические сведения

1802 г. – В. В. Петров получил электрическую дугу и указал на ее практическое использование для освещения и плавки металла.

1821 г. – английский физик М. Фарадей осуществил вращение проводника с током вокруг магнита, создав, таким образом, действующую модель будущего электродвигателя.

1888 г. – М. О. Доливо-Добровольский построил первый трехфазный генератор и электродвигатель.

Для включения и отключения создающегося электрического оборудования и электроприводов потребовались устройства, позволяющие осуществить эти несложные операции. На первом этапе развития управлением электроприводами и другим оборудованием были созданы устройства ручного управления – рубильники, являющиеся прототипом электроконтактных (электромеханических) аппаратов.

В настоящее время электрические аппараты широко применяются в системах электроснабжения предприятий и организаций различных отраслей народного хозяйства для управления электродвигателями и другим электрооборудованием.

Электрические аппараты подразделяются на аппараты управления, аппараты защиты и датчики.

По конструктивному исполнению выпускаются электроконтактные (электромеханические) и бесконтактные аппараты.

Несмотря на стремительное развитие электроники, электромеханические аппараты, используемые для управления электродвигателями станков, механизмов, машин все еще находят широкое распространение ввиду ряда причин: относительно простая конструкция, невысокая стоимость.

Основными достоинствами электромеханических аппаратов являются: более надежная коммутация (соотношение между сопротивлениями в разомкнутом и замкнутом состояниях контактов), видимый

разрыв электрической цепи, отсутствие электрической (гальванической) связи между цепью управления и исполнительной частью, устойчивость к перенапряжению и перегрузкам.

Бесконтактные электрические аппараты предназначены для включения и отключения (коммутации) электрических цепей без физического разрыва самой цепи. Принцип действия бесконтактных аппаратов основан на изменении тока в электрической цепи при воздействии на нее управляющего сигнала. Основой для построения бесконтактных аппаратов служат различные нелинейные элементы: ферромагнитные сердечники с обмотками и полупроводниковые приборы (транзисторы, интегральные микросхемы, тиристоры, оптоэлектронные приборы) и др.

Бесконтактная полупроводниковая аппаратура применяется в случаях, когда надо:

- плавно изменять параметры (регуляторы, регулируемые электроприводы);
- осуществлять частую коммутацию электрической цепи, при которой контактные аппараты быстро изнашиваются;
- осуществлять высокое быстродействие;
- передавать сигналы, несущие малую энергию;
- применять в любой среде и даже во взрыво- и пожароопасной.

Совмещение достоинств электромеханических и бесконтактных аппаратов привело к широкому созданию гибридных аппаратов, сочетающих измерительную часть на полупроводниковых приборах с электромеханической исполнительной частью.

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.

Выпускаются электрические аппараты общепромышленного назначения напряжением до 1 кВ, высоковольтные свыше 1 кВ и электробытовые аппараты и устройства.

Электрические аппараты напряжением до 1 кВ подразделяются на электрические аппараты ручного управления, дистанционного управления, аппараты защиты и датчики.

Классифицируются электрические аппараты по ряду признаков:

- по назначению, т. е. основной функции, выполняемой аппаратом;
- по принципу действия;
- по роду тока (переменный или постоянный);
- по величине тока;
- по величине напряжения (до 1 кВ и свыше 1 кВ);
- по исполнению;
- по степени защиты (*IP*) и категории размещения;
- по конструктивным особенностям и области применения.

В зависимости от назначения аппараты можно подразделить на следующие группы: аппараты управления; аппараты защиты; контролируемые аппараты (датчики).

Классификация электрических аппаратов представлена на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Классификация электрических аппаратов

Основы теории электрических аппаратов

Электрические контакты. Электрическим контактом называется зона перехода электрического тока из одной токоведущей части в другую, а поверхности, на которых осуществляется электрический контакт, – контактными поверхностями.

Обеспечить в месте электрического контакта такие же условия прохождения тока, какие имеет сплошной проводник, практически невозможно, вследствие чего контактные соединения являются наиболее слабым местом электрического аппарата и требуют особого внимания, как при конструировании, так и при эксплуатации.

Контакты электрических аппаратов имеют следующие характеристики:

– раствор контакта – кратчайшее расстояние между контактными поверхностями подвижного и неподвижного контактов в разомкнутом положении (рис. 1.2, *а*; 1.3);

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

– провал контакта – расстояние, на которое может сместиться подвижный контакт, если убрать неподвижный контакт (рис. 1.2, *б*).

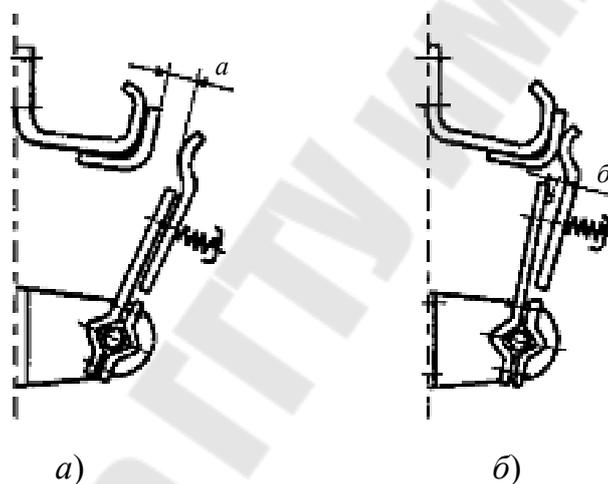


Рис. 1.2. Раствор и провал контактов: *а* – раствор; *б* – провал

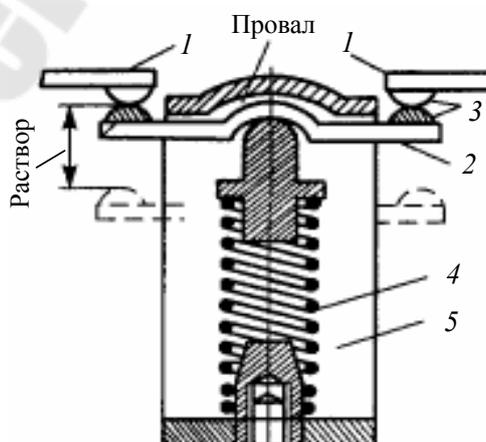


Рис. 1.3. Самоустанавливающийся контакт мостикового типа

При нажатии одного контакта на другой вершины выступов сминаются, в результате образуются площадки действительного касания контактов (рис. 1.4).

Поверхность контактов должна быть хорошо обработана, чтобы обеспечить достаточную площадь соприкосновения, а, следовательно, и проводимость электрического тока.

Но как бы ни была тщательно обработана поверхность соприкосновения контактов, электрический ток проходит из одного контакта в другой только в отдельных точках, в которых две поверхности контактов касаются друг друга контактирующими выступами, так как абсолютно гладкой поверхности нельзя получить ни при каком методе обработки.

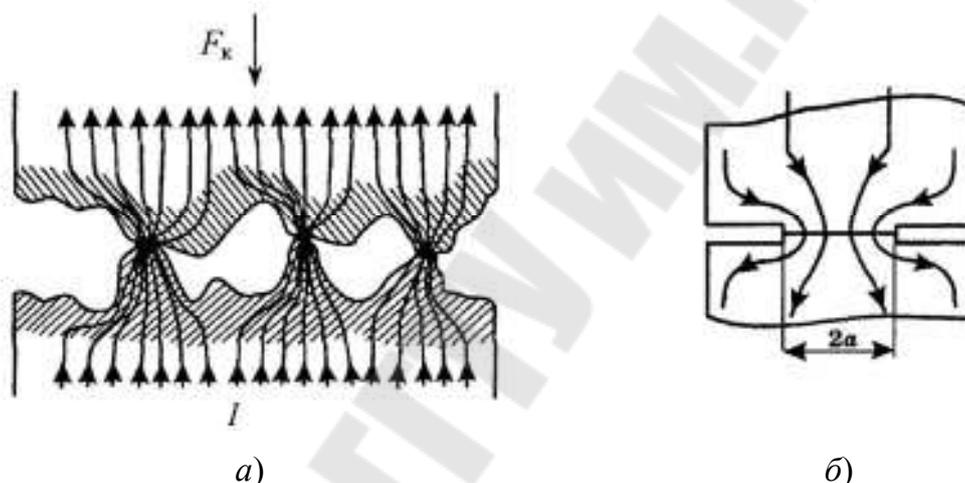


Рис. 1.4. Картина прохождения тока в электрическом контакте:
 а – примерная картина прохождения тока; б – площадка касания

Рассмотрим процесс перехода тока из одного контакта в другой при касании двух цилиндрических контактов по торцам.

Выделим одну площадку касания, предположим, что эта площадка имеет форму круга с радиусом a (рис. 1.4, б).

Величину радиуса a при пластической деформации можно определить по выражению:

$$\pi a^2 = \frac{F_k}{\sigma}, \quad (1.1)$$

где F_k – сила нажатия контактов, Н;

σ – временное сопротивление материала контакта смятию, Н/м².

В результате стягивания линий тока к площадке касания путь тока меняется. Сечение проводника, через которое фактически проходит ток, становится меньше, что вызывает увеличение сопротивления прохождению тока.

Сопротивление в области точки касания, обусловленное явлениями стягивания тока, называется переходным сопротивлением контакта. Переходное сопротивление зависит от силы нажатия F_k . Зависимость переходного сопротивления от силы нажатия различна для контактных материалов (латунь, медь, серебро) – чем сильнее нажатие, тем меньше переходное сопротивление и чем тверже материал, тем сильнее должно быть нажатие.

Для такой идеализированной картины растекания тока в контактах переходное сопротивление определяется выражением [6]:

$$R_k = \frac{\rho}{2a}. \quad (1.2)$$

С точностью до 5 % эта формула справедлива, если поперечные размеры контакта превосходят в 15 раз диаметр площадки касания [6]. В большинстве практических случаев это условие соблюдается, так как размеры площадки касания обычно не превосходят долей миллиметра.

Если найти из (1.1) радиус площадки a и подставить его значение в (1.2), получим:

$$R_k = \frac{\rho\sqrt{\pi\sigma}}{2\sqrt{F_k}} = \frac{k}{F_k^{1/2}}, \quad (1.3)$$

где $k = \frac{\rho\sqrt{\pi\sigma}}{2}$.

Таким образом, сопротивление, обусловленное стягиванием тока, пропорционально удельному сопротивлению, корню квадратному из временного сопротивления на смятие материала σ и обратно пропорционально корню квадратному из силы нажатия на контакты.

Одноточечный контакт применяется в основном только при малых токах коммутации. При больших токах применяется многоточечный контакт. Поскольку ток проходит через несколько контактных переходов, включенных параллельно, переходное сопротивление уменьшается по сравнению с одноточечным контактом.

Количество контактирующих точек увеличивается с ростом силы нажатия по весьма сложному закону, при этом переходное сопротивление R_k определяется по выражению:

$$R_k = \frac{k}{F_k^n}, \quad (1.4)$$

где n – показатель степени;

$n = 0,5$ – для точечного контакта;

$n = 1,0$ – для поверхностного контакта.

Переходное сопротивление R_k зависит от способа обработки поверхности контакта. Шлифованная поверхность контактов ведет к тому, что на поверхности остаются более пологие выступы с большим сечением. Смятие таких выступов возможно только при больших силах нажатия. Поэтому сопротивление шлифованных контактов выше, чем контактов более грубой обработки, например, после обработки личным напильником. В месте соприкосновения контактов при окислении металла на поверхности образуются пленки с очень высоким удельным сопротивлением (до 104 Ом·м) [6]. Если напряжение, замыкаемой цепи очень мало или нажатие на контакты недостаточно, то иногда контакты вообще не пропускают тока. Для того, чтобы ток проходил, необходимо либо увеличить нажатие контактов, чтобы разрушить пленку, либо увеличить напряжение цепи, чтобы произошел пробой образовавшейся пленки.

Как только свежеччищенная поверхность контактов соприкасается с кислородом воздуха, вновь начинается процесс образования оксидной пленки, и переходное сопротивление может возрасти в десятки тысяч раз.

В связи с этим контакты на малые токи (малые нажатия) изготавливают из благородных металлов, не дающих окисных пленок (золото, платина и др.).

В силовых контактах электрических аппаратов, коммутирующих большие токи, пленка оксидов разрушается благодаря большим нажатиям, либо путем самозачистки за счет проскальзывания одного контакта относительно другого при включении аппарата.

При прохождении тока через область стягивания линий тока контакт нагревается, и если температура будет увеличиваться, то наступает плавление металла в точках касания и сваривание контактов.

Рассмотрим процессы в контактах при включении и отключении электрической цепи.

Включение цепи. При включении контактов могут иметь место следующие процессы: вибрация контактов; эрозия в результате образования разряда между сходящимися контактами.

Рассмотрим причины возникновения вибрации на примере контактного механизма электромагнитного контактора (рис. 1.5).

Подвижный контакт *1* связан с контактным рычагом *2* через контактную пружину *3*. Неподвижный контакт *4* жестко закреплен на опоре. Электромагнитный механизм контактора воздействует на рычаг *2*. В момент соприкосновения контактов они соударяются, в результате чего происходит деформация смятия контактов и отброс контакта *1* назад, т. е. вправо. Между контактами образуется зазор и загорается электрическая дуга. Движение контакта *1* вправо прекращается тогда, когда энергия, полученная им при ударе, перейдет в энергию сжатия пружины *3*. После этого контакт *1* под действием пружины *3* начнет перемещаться влево. Произойдет новый удар и новый отброс контакта. Это явление называется вибрацией контактов.

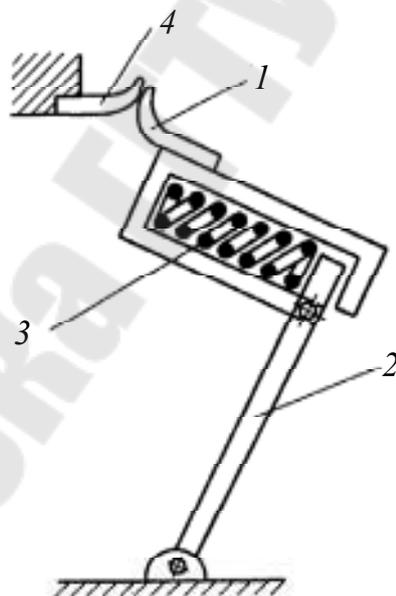


Рис. 1.5. Контактный механизм электромагнитного контактора:

1 – подвижный контакт; *2* – контактный рычаг;
3 – контактная пружина; *4* – неподвижный контакт

Вибрация контактов явление весьма вредное, поскольку при этом имеет место многократное образование короткой дуги, которая ведет к сильному оплавлению и распылению металла контактов.

Для уменьшения вибрации контактов пружина 3 имеет предварительную деформацию (натяг) при разомкнутых контактах. В момент касания контактов сила нажатия возрастает не с нуля, а с величины предварительного начального нажатия контактов. На вибрацию контактов влияет также момент инерции, с ростом которого вибрация увеличивается. В связи с этим контакты должны быть достаточно легкими.

При включении на существующее короткое замыкание вибрация контактов усиливается из-за возникновения отбрасывающих сил в точке касания.

Для того чтобы не было оплавления контактов в момент их соприкосновения, необходимо, чтобы предварительная сила натяга контактной пружины компенсировала электродинамические силы отброса и создавала такое нажатие, чтобы падение напряжения на переходном сопротивлении не приводило к плавлению точки касания.

В аппаратах на большие токи короткого замыкания электродинамические силы в контактах получаются столь большими, что контактные пружины должны развивать усилия несколько тысяч ньютонов.

При включении цепи по мере приближения подвижного контакта к неподвижному возрастает напряженность электрического поля между контактами и при определенном расстоянии произойдет пробой промежутка. В дуговую форму разряд не переходит, так как подвижный контакт продолжает двигаться и, замыкая промежуток, прекращает разрядные процессы. Однако возникающие при пробое электроны бомбардируют анод и вызывают его износ. Металл анода откладывается на катоде в виде тонких игл.

Износ контактов в результате переноса материала с одного контакта на другой, испарение в окружающее пространство без изменения состава материала называется электрическим износом или эрозией. Эрозия при замыкании контактов незначительна, но при малых нажатиях, малых расстояниях между контактами она может привести к их спеканию.

В аппаратах высокого напряжения при сближении контактов пробой происходит при больших расстояниях, возникающая дуга с большим током горит относительно долго, при этом возможно сваривание контактов.

Отключение цепи. При размыкании контактов сила нажатия уменьшается, переходное сопротивление возрастает и поэтому растет температура точек касания. В момент разъединения контактов темпе-

ратура достигает температуры плавления, и между контактами возникает мостик из жидкого металла. При дальнейшем движении контактов мостик обрывается, и в зависимости от параметров отключаемой цепи возникает либо дуговой разряд, либо тлеющий.

При возникновении дугового разряда температура достигает точки плавления материала контактов. Происходит интенсивное окисление, распыление материала контактов в окружающее пространство, перенос материала с одного контакта на другой и образование пленок, а, следовательно, и износ контактов.

Износ, связанный с окислением, образованием на контактах пленок химических соединений материала контактов со средой называется химическим износом или коррозией.

Перенос материала с одного контакта на другой наиболее вреден при постоянном токе, так как направление переноса не изменяется, что ведет к потере веса или объема и выходу контакта из строя.

Основным средством борьбы с эрозией в аппаратах на токи от 1 до 600 А являются:

- сокращение длительности горения дуги за счет применения дугогасительных устройств;
- устранение вибрации контактов при включении;
- применение контактов из дугостойких материалов, имеющих высокую температуру плавления;
- подвижный контакт должен иметь определенную скорость движения и определенный ход в зависимости от конструкции аппарата, номинального тока и напряжения.

Материалы для контактов

К материалам контактов предъявляются следующие требования:

- высокая электропроводность и теплопроводность;
- стойкость против коррозии в воздухе и других газах;
- стойкость против образования оксидных пленок с большим удельным сопротивлением;
- малая твердость для уменьшения необходимой силы нажатия;
- высокая дугостойкость (температура плавления);
- высокая механическая прочность – уменьшает механический износ, позволяет сохранять форму контактной поверхности;
- достаточная вязкость – позволяет хорошо прирабатываться контактам друг к другу, уменьшает переходное сопротивление;
- невысокая стоимость.

Электротехническая медь – химически чистая медь, полученная электролизом. Она удовлетворяет почти всем требованиям, предъявляемым к материалам контактов, и широко применяется в контактных соединениях – как взаимоподвижных, так и взаимонеподвижных. Основной недостаток – сильная окисляемость, причем оксидная пленка имеет высокое удельное сопротивление.

Для защиты меди от окисления поверхность контактов покрывается слоем серебра 20–30 мк электролитическим способом. А также применяются контакты с напаянными серебряными пластинками.

Кадмиевая медь – электротехническая медь с присадкой кадмия; обладает очень высокими механическими свойствами, очень хорошо противостоит истиранию; дугостойкость значительно выше, чем у обычной электротехнической меди, а свариваемость существенно ниже.

Серебро – имеет высокие электро- и теплопроводность. Пленка окисла серебра имеет низкое сопротивление, благодаря малой механической прочности достаточны малые нажатия, контакты из серебра имеют малое переходное сопротивление. Малая дугостойкость и недостаточная твердость серебра препятствует использованию его при образовании сильной дуги, а также при частых включениях и отключениях. Серебряные контакты применяются в контактах реле, электромагнитных контакторах, пускателях и изготавливаются на токи до 20 А.

Латунь – сплав меди с цинком, применяется в качестве дугогасящих контактов в высоковольтных аппаратах.

Бронза – сплав меди с оловом, а также безоловянные бронзы – сплавы меди с алюминием, марганцем, никелем, кремнием и другими присадками. Применяется в качестве материала контактов, у которых контактное нажатие создается пружинящими свойствами самого материала (например, контактные стойки предохранителей). Такие контакты разрывать электрическую дугу не могут, так как при нагреве теряют свои пружинящие свойства.

Алюминий – имеет достаточно высокие электро- и теплопроводность. Имеет меньший вес, на 48 % меньше чем медь. Для изготовления контактов не применяется, а как конструкционный материал для деталей аппаратов. Недостатком алюминия является его малая механическая прочность – болтовые соединения быстро ослабевают и теряют контактное нажатие.

Вольфрам – высокая дугостойкость, большая стойкость против эрозии, сваривания. Высокая твердость вольфрама позволяет применять его при частом включении и отключении.

Недостатки. Высокое удельное сопротивление, малая теплопроводность, образование прочных оксидных и сульфидных пленок. Вольфрамовые контакты требуют большого нажатия в связи с высокой механической прочностью и образованием пленок.

В реле на малые токи с небольшим нажатием контактов применяются стойкие против коррозии и окисления материалы – золото, платина, палладий и их сплавы.

Из всех перечисленных металлов ни один из них идеально не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к контактам.

Основные свойства контактных материалов – высокая электропроводность и дугостойкость могут быть получены за счет сплавов таких металлов, как серебро и вольфрам, медь – вольфрам, так как эти металлы не образуют сплавов, соединение их вместе производится механическим способом, такое соединение получило название металлокерамика.

Металлокерамика – механическая смесь двух практически несплавляющихся материалов. Получается либо методом спекания смеси из порошков, либо пропиткой одного материала другим. Появление металлокерамики вызвано стремлением создать материал, наиболее полно отвечающий всем требованиям, предъявляемым к материалу контактов. Обычно один из металлов обладает хорошими электрическими свойствами – малым удельным сопротивлением, малой окисляемостью, а второй – высокими механическими и дугостойкими свойствами. Таким образом, металлокерамика в какой-то степени объединяет свойства разнородных металлов. Наибольшее распространение нашла металлокерамика на основе серебра: серебро – никель, серебро – окись кадмия, серебро – вольфрам, серебро – молибден и др. Дугостойкость металлокерамических контактов получается за счет применения таких металлов, как вольфрам, молибден. Для получения малого переходного сопротивления контактов используется серебро или медь. Наличие прочных тугоплавких частичек создает своеобразную решетку, удерживающую расплавленные частицы серебра и препятствующую их сливанию в достаточно большие капли. Вследствие этого серебряная металлокерамика при всех положительных качествах серебра (высокая электропроводность, стабильное малое переходное сопротивление) обладает также достаточной дугостойкостью и износостойкостью, плохо

сваривается. Применяется в виде напаяк на основные детали контактов, как в слаботочных, так и в силовых контактах. Стоимость серебряной металлокерамики несколько ниже стоимости чистого серебра.

Чем больше в материале вольфрама, тем выше дугостойкость, механическая прочность, выше сопротивление свариванию, но увеличивается сопротивление контактов, и уменьшается теплопроводность.

Металлокерамика с содержанием вольфрама более 50 % применяется в контактах для силовых выключателей, отключающих большие токи короткого замыкания.

Серебряно-графитные и медно-графитные контакты благодаря высокой устойчивости против сваривания применяются как дугогасительные контакты, а чаще для контактов, имеющих при работе постоянное искрение (например, щетки электрических машин).

Гашение электрической дуги

Перед электроконтактными аппаратами, которые коммутируют электрические цепи с током, стоит задача не только разорвать электрическую цепь, но и погасить возникшую между контактами электрическую дугу.

Рассмотрим причины возникновения электрической дуги при отключении (разрыве) электрической цепи с током.

Контур, содержащий индуктивность, при протекании через него тока запасает электромагнитную энергию, причем, чем больше индуктивность контура, тем больше запасенная электромагнитная энергия W ,

$$W = \frac{LI^2}{2}, \quad (1.5)$$

где L – индуктивность, Гн;

I – ток в электрической цепи, А.

При размыкании контура запасенная энергия должна быть израсходована. В основном эта энергия расходуется на создание разряда между разомкнутыми контактами, который, в большинстве случаев, является дуговым разрядом, характеризуемый большой плотностью тока в разрядном промежутке, сопровождающийся высокой температурой и повышением давления в области горения дуги. В коммутационных электрических аппаратах, предназначенных для замыкания и размыкания электрической цепи с током, при отключении возникает разряд в газе. Либо тлеющий разряд в газе, либо элек-

трическая дуга. Тлеющий разряд возникает тогда, когда ток в отключаемой цепи ниже 0,1 А, а напряжение на контактах достигает величины 250–300 В. Такой разряд возникает на контактах мощных реле или как переходная фаза к разряду в виде электрической дуги. Дуговой разряд имеет место только при токах большой величины, минимальный ток дуги составляет примерно 0,5 А.

Способы гашения дуги постоянного тока

Принудительное движение воздуха. Гашение дуги в струе сжатого воздуха, полученной с помощью компрессора, весьма эффективно. Такое гашение в аппаратах низкого напряжения не применяется, так как дугу можно погасить и более простыми способами, без применения специального оборудования для сжатия воздуха.

Для гашения дуги, особенно при критических токах (токи, при которых наступают условия для гашения электрической дуги, называются критическими), применяется принудительное дутьё воздуха, создаваемого деталями подвижной системы при движении в процессе отключения.

Гашение дуги в жидкости. Гашение электрической дуги в жидкости, например, в трансформаторном масле, очень эффективно, так как образующиеся газообразные продукты разложения масла при высокой температуре электрической дуги, интенсивно деионируют ствол дуги. Если контакты отключающего аппарата поместить в масло, то возникающая при размыкании дуга приводит к интенсивному газообразованию и испарению масла. Вокруг дуги образуется газовый пузырь, состоящий в основном из водорода. Быстрое разложение масла приводит к повышению давления, что способствует лучшему охлаждению дуги и деионизации. Из-за сложности конструкции этот способ гашения дуги в аппаратах низкого напряжения не применяется.

Повышенное давление газа. Повышенное давление газа облегчает гашение дуги, так как при этом повышается теплоотдача. Установлено, что вольтамперные характеристики дуги в разных газах, находящихся при разных давлениях (больше атмосферного), будут одинаковы, если в этих газах будут одинаковые коэффициенты теплоотдачи конвекцией.

Гашение при повышенном давлении осуществляется в предохранителях с закрытым патроном без наполнителя серии ПР2.

Электродинамическое воздействие на дугу. При токах свыше 1 А большое влияние на гашение дуги оказывают электродинамические силы, возникающие между дугой и соседними токоведущими

частями. Эти силы удобно рассматривать как результат взаимодействия тока дуги и магнитного поля, созданного током, проходящим по токоведущим частям. Простейшим способом создания магнитного поля является соответствующее расположение электродов, между которыми горит дуга. Для успешного гашения дуги требуется, чтобы расстояние между электродами по ходу ее движения увеличивалось плавно. При малых токах никакие, даже очень маленькие, ступеньки (высотой порядка 1 мм) нежелательны, так как у их края дуга может задержаться.

Магнитное гашение. Если путем соответствующего расположения токоведущих частей не удастся достигнуть гашения дуги при приемлемых растворах контактов, то, чтобы их не увеличивать чрезмерно, применяют так называемое магнитное гашение. Для этого в зоне, где горит дуга, создают магнитное поле с помощью постоянного магнита или электромагнита, дугогасительная катушка которого включена последовательно в главную цепь. Иногда магнитное поле, созданное контуром тока, усиливается специальными стальными деталями. Магнитное поле направляет дугу в требуемую сторону.

При последовательно включенной дугогасительной катушке изменение направления тока в главной цепи не вызывает изменение направления тока и не вызывает изменение направления движения дуги. При постоянном магните дуга будет двигаться в разные стороны в зависимости от направления тока в главной цепи. Обычно конструкция дугогасительной камеры этого не позволяет, тогда аппарат может работать только при одном направлении тока, что представляет значительные неудобства. Это является главным недостатком конструкции с постоянным магнитом, которая проще, компактнее и дешевле конструкции с дугогасительной катушкой. Способ гашения дуги с помощью последовательно включенной катушки состоит еще и в том, что наибольшую напряженность поля надо создать при критических токах, которые невелики. Дугогасительное поле становится большим при больших токах, когда можно обойтись и без него, так как электродинамические силы становятся достаточно большими для выдувания дуги.

В аппаратах, рассчитанных на атмосферное давление, магнитное гашение применяется широко. В автоматических воздушных выключателях на напряжение до 660 В (за исключением быстродействующих) дугогасительные катушки не применяются, так как эти аппараты преимущественно ручного управления и у них легко создать доста-

точно большой раствор контактов. Но усилие поля с помощью стальных скоб, охватывающих токоведущие части, применяется часто. Дугогасительные катушки применяются в однополюсных электромагнитных контакторах постоянного тока, так как раствор контакта аппарата необходимо делать значительно меньшим во избежание применения чрезмерно большого втягивающего электромагнита.

Гашение дуги переменного тока

При переменном токе возможен процесс гашения дуги, существенно отличающийся от процесса гашения при постоянном токе. Нормальное гашение дуги переменного тока осуществляется в момент перехода синусоиды тока через нуль, что существенно меняет картину процесса гашения дуги. Если при постоянном токе необходимо принудительно оборвать ток дуги и деионизировать дуговой промежуток, то на переменном токе достаточно обеспечить условия, чтобы после её погасания при прохождении тока нуль дуга вновь не зажглась бы в следующем периоде. Однако все описанные факторы, способствующие повышению напряженности электрического поля горячей дуги постоянного тока вследствие охлаждения, и деионизации ствола, способствуют и гашению дуги переменного тока, так как уменьшают сдвиг фаз тока и напряжения в цепи, и уменьшают величину подводимого к промежутку напряжения.

Аналогично влияет индуктивность нагрузки – повышение коэффициента мощности существенно облегчает гашение дуги.

Факторы, влияющие на гашение дуги переменного тока

Скорость движения дуги. Средняя скорость движения дуги переменного тока близка к скорости дуги постоянного тока. Однако было обнаружено, что при расстояниях 25–100 мм между круглыми параллельными медными и стальными проводниками диаметром 5 мм при токах менее 100–180 А дуга не движется. Когда ток лишь немного больше вышеуказанного, дуга сразу начинает двигаться со скоростью 1–2 м/с. Следовательно, из этого можно сделать вывод, что дуга переменного тока более склонна к неподвижности, чем дуга постоянного тока.

Число разрывов цепи. На переменном токе обычно применяют дугогасительные камеры с несколькими металлическими пластинками, стоящими на пути дуги (деионная решетка), которая разбивает дугу на несколько частей.

Частота сети. Большое значение имеет скорость изменения тока перед его прохождением через нуль, т. е. частота сети. При данном действующем значении в моменты времени, непосредственно предшествующие прохождению тока через мгновенное значение тока, будет пропорционально частоте ($I = I_{\max} \cdot \sin \omega t$).

При повышенных частотах питающей сети (400 Гц и более) процесс гашения дуги существенно отличается от процесса при частоте 50 Гц. При частоте 50 Гц к каждому переходу через нуль температура дуги спадает на 30–50 % максимального значения. При повышенной частоте из-за инерции дугового разряда такого снижения температуры не наблюдается. Это затрудняет гашение дуги [6].

Гашение дуги в дугогасительных камерах. Электрическую дугу не представляет сложности погасить путем ее растяжения, но при этом коммутационный аппарат получится громоздким, а, следовательно, и электротехническое устройство. Важная задача заключается в том, чтобы ограничить распространение дуги и ее пламени и погасить дугу в малом объеме, что необходимо для создания компактных электрических аппаратов и устройств. Для этого разрыв электрической цепи производят внутри дугогасительных камер, которые устанавливают на коммутационные аппараты.

Токоведущие и дугогасительные системы должны быть рассчитаны и выполнены так, чтобы:

- время гашения дуги было возможно меньше;
- отсутствовали перенапряжения, опасные для изоляции.

Тема 2. Электрические аппараты ручного управления

- Рубильники.
 - Кнопки управления и кнопочные посты.
 - Пакетные выключатели и переключатели.
 - Универсальные переключатели.
 - Контроллеры.
-

Аппараты ручного управления предназначены для ручного (непосредственного) управления электродвигателями и другими потребителями электрической энергии переменного и постоянного тока. Применяются для нечастого включения и выключения электрических цепей, реверсирования, переключения схем соединения обмоток, из-

менения сопротивления при управлении электродвигателями и т. д. К ним относятся: рубильники, кнопки управления, пакетные выключатели и переключатели, универсальные переключатели, ящики сопротивлений, пусковые и регулировочные реостаты, командоконтроллеры и контроллеры.

Рубильники

Рубильники – это простейшие аппараты ручного управления (рис. 2.1). Применяются в цепях переменного тока при напряжении до 660 В и постоянного тока до 440 В и токах от 25 до 10 000 А. Рубильники подразделяются по количеству полюсов – одно-, двух- и трехполюсные; по роду управления – с центральной и боковой рукояткой или рычажным приводом; по способу присоединения – с передней и задней стороны аппарата.

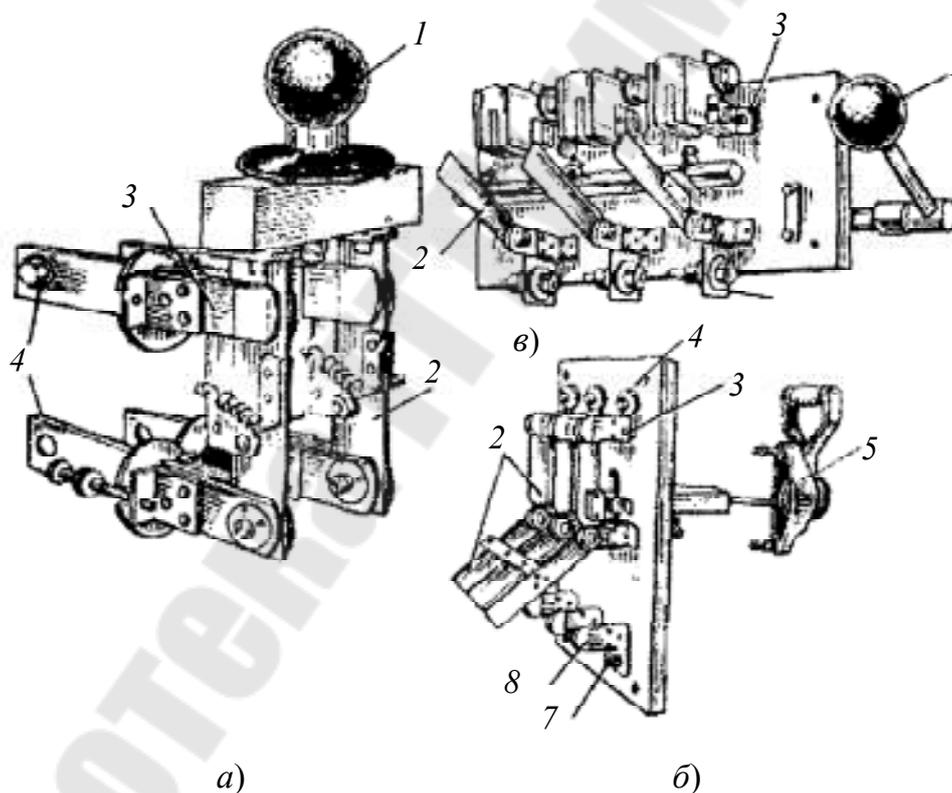


Рис. 2.1. Рубильники: а – с центральной рукояткой; б – с боковой рукояткой; в – переключатель с центральным рычажным приводом

Коммутирующим элементом рубильников является подвижный нож 2 (рис. 2.1, а), входящий в губки контактных стоек 3.

Переключатель (рис. 2.1, в) отличается наличием дополнительных неподвижных контактов б с выводами 7, чем обеспечивается переключение подходящих к нему электрических цепей с одной на другую.

В некоторых конструкциях рубильники совмещают с предохранителями или в качестве ножей используют предохранители. Такая конструкция позволяет выполнять функции коммутации и защиты и называется блок предохранитель-выключатель (БПВ) (рис. 2.2).

Для быстрого гашения дуги рубильники снабжаются дугогасительными камерами. Рубильники без дугогасительных камер используют, главным образом, как разъединители для создания видимого разрыва электрической цепи.

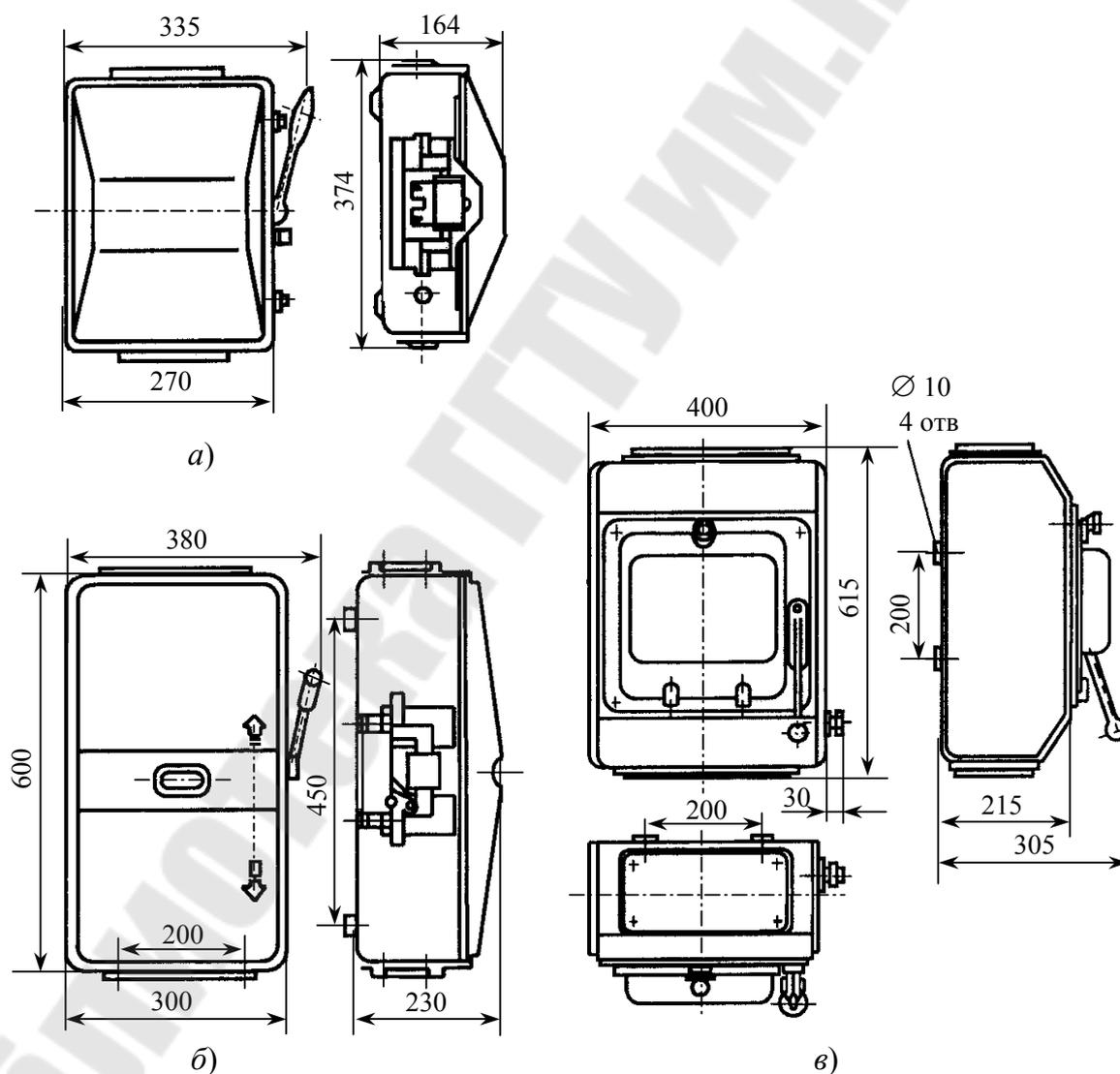


Рис. 2.2. Блок предохранитель-выключатель:
 а – ЯБПВУ-1МУЗ; б – ЯБП1-2УЗ; в – ЯБПВУ-4УЗ

Тип рубильников и переключателей расшифровывается следующим образом:

Р (П) – рубильник (переключатель).

РБ (ПБ) – рубильник (переключатель) с боковой рукояткой.

РПБ (ППБ) – рубильник (переключатель) с боковым рычажным приводом.

РПЦ (ППЦ) – рубильник (переключатель) с центральным рычажным приводом.

Первая цифра после букв обозначает количество полюсов – 2 или 3, вторая цифра – номинальный ток 1 – 100 А; 2 – 250 А; 4 – 400 А; 6 – 600 А, например, РБ31 – рубильник с боковой рукояткой, трехполюсный, на ток 100 А.

В целях безопасности прикосновения обслуживающего персонала к токоведущим частям рубильники заключаются в защитный металлический кожух и называются ящики силовые.

Ящики силовые типа ЯВЗ, ЯВЗШ, ЯВЗБ изготавливаются на напряжение до 500 В.

Тип ящиков расшифровывается следующим образом:

Я – ящик; В – выключатель; З – закрытый; Ш – со штепсельным разъемом; Б – контактные стойки с барашковыми зажимами.

Ящики силовые типа ЯБП, ЯБПВУ (рис. 2.2) на напряжение 380 В предназначены для защиты линий и нечастой коммутации электрических цепей. В качестве ножей применяются плавкие предохранители серии ПН2. Ящик ЯБПВУ-1М на ток 100 А, ЯБПВУ-2 – 250 А, ЯБПВУ-4 – 400 А.

Кнопки управления и кнопочные посты

Эти электрические аппараты предназначены для подачи оператором управляющего воздействия при управлении различными электромагнитными аппаратами (реле, пускателями, контакторами), а также для коммутирования цепей управления, сигнализации, электрической блокировки и других цепей постоянного и переменного тока.

Кнопки применяют в цепях переменного тока до 660 В и постоянного тока до 440 В.

Кнопки управления различаются по величине – нормальные и малогабаритные; с разным набором замыкающих и размыкающих контактов; по номинальному току и напряжению; по форме и цвету толкателей; с самовозвратом в исходное положение; с защелками, фиксирующими положение после нажатия; включаемые специальным ключом и др.

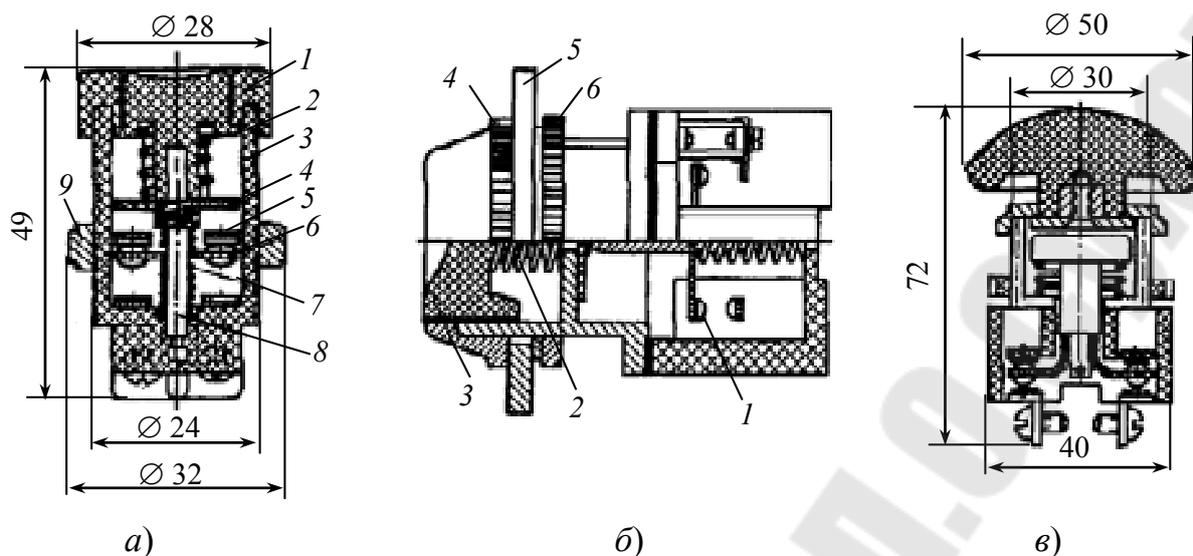


Рис. 2.3. Кнопки управления:
 а – в пластмассовом корпусе; б – с креплением на щите;
 в – с грибовидным толкателем красного цвета

Основной частью кнопок управления является кнопочный элемент (рис. 2.3, а), в пластмассовом корпусе 3 установлены неподвижные контакты 5. На стержне 8 закреплен контактный мостик 6, он пружинен пружинами 7, обеспечивающими нажатие контактов. При свободном толкателе (кнопка не нажата) нижняя пружина поджимает контактный мостик к верхним неподвижным контактам, а при утопленном толкателе верхняя пружина поджимает мостик к нижним контактам. В исходное положение толкатель возвращает пружина 2, которая установлена между диском 4 и выточкой толкателя. Кнопка крепится к панели гайкой 9. Контакты кнопочных элементов делают металлокерамическими или посеребренными, они рассчитаны на 40 000 циклов включений – отключений под нагрузкой.

Два, три и более кнопочных элемента, смонтированных в одном корпусе, образуют кнопочную станцию или кнопочный пост (рис. 2.4), они выполняются для монтажа на пульте, на стене, на полу (ножные) и подвесные. Промышленностью выпускаются кнопки управления и кнопочные станции серий КЕ, ПКЕ, ПКУ.

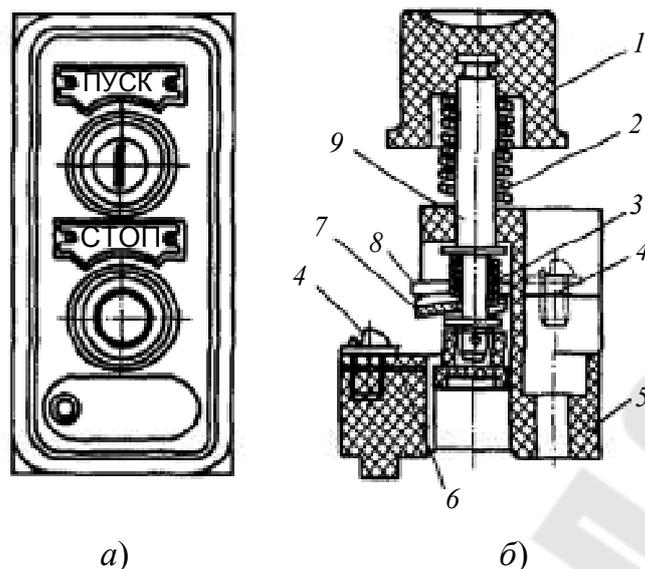


Рис 2.4. Кнопочный пост: *а* – общий вид; *б* – кнопочный элемент

Пакетные выключатели и переключатели

Применяются в цепях управления и сигнализации в схемах пуска и реверса электродвигателей небольшой мощности под нагрузкой в цепях переменного тока напряжением 380 В и постоянного тока 220 В. Они представляют собой малогабаритные многоцепные аппараты поворотного типа.

Выпускаются пакетные выключатели на токи 10, 25, 60, 100, 250, 400 А при небольшом числе включений 15-20 в час и имеют одно-, двух- и трехполюсную конструкцию в открытом, защищенном и герметическом исполнении.

Пакетные выключатели состоят из отдельных колец-пакетов, выполненных из изолирующего материала. Внутри пакета помещается контактная система, состоящая из неподвижного и подвижного контактов – один полюс. Из таких пакетов можно набрать любое число полюсов.

На рис. 2.5 представлен трехполюсный пакетный выключатель, у которого пакеты разных полюсов набираются на скобе 4 со стяжными шпильками 3. На валике с рукояткой 1 фиксировано посажены подвижные контакты 7, имеющие профильное отверстие 5.

Неподвижные контакты 8 находятся между изоляционными дисками 6. Контактные нажатия происходят под действием пружинящих подвижных контактов. Дуга, возникающая при замыкании и размыкании контактов, гасится в закрытой крышкой 2 камере, образо-

ванной между пакетами при наличии искрогасительных шайб. Выключатель снабжен механизмом мгновенного переключения, который представляет собой заводную пружину, обеспечивающую большую скорость размыкания контактов.

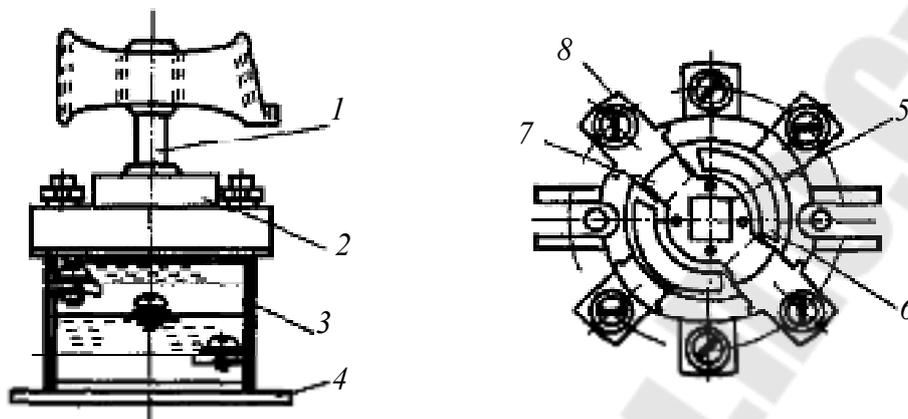


Рис. 2.5. Трехполюсный пакетный выключатель

Тип пакетных выключателей и переключателей расшифровывается следующим образом:

ПВ – пакетный выключатель.

ПП – пакетный переключатель.

ПВМ – открытого исполнения малогабаритный.

ГПВМ – герметический малогабаритный; первая цифра – количество полюсов; число после дефиса указывает номинальный ток, А; Н – наличие нулевых положений; цифра после буквы Н – количество линий, например ПВМ2-10 – пакетный выключатель малогабаритный двухполюсный на номинальный ток 10 А.

ПП2-10/Н2 – пакетный переключатель открытого исполнения двухполюсный на 10 А с двумя нулевыми положениями на две линии.

Универсальные переключатели

Переключатели можно разделить на две группы: с поворотными подвижными контактами серии МК, ПМО и кулачковые УП5300, ПКУ.

Универсальные переключатели выпускаются в нормальном исполнении – серии УП5300; водозащищенном – серии УП5400; взрывозащищенном серии – УП58007. Их различают по числу секций, числу фиксированных положений и углу поворота рукоятки, ее форме и другим признакам.

Число секций может быть 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16.

В обозначении каждого переключателя указывают сокращенное название, условный номер данной конструкции, номер, указывающий число секций, тип фиксатора и номер диаграммы переключателя по каталогу. Например, обозначение УП5314-Н20 расшифровывается так: У – универсальный, П – переключатель, 5 – нерегулируемый командоаппарат, 3 – безречная конструкция, 14 – число секций, Н – тип фиксатора, 20 – номер диаграммы по каталогу.

Основной частью переключателя УП5300 являются стянутые шпильками рабочие секции (рис. 2.6, б). Через все секции проходит центральный валик, на одном конце которого находится пластмассовая рукоятка. Для крепления переключателя на панели в его передней стенке имеются три выступа с отверстиями под установочные винты. Коммутация электрических цепей осуществляется расположенными в секциях контактами.

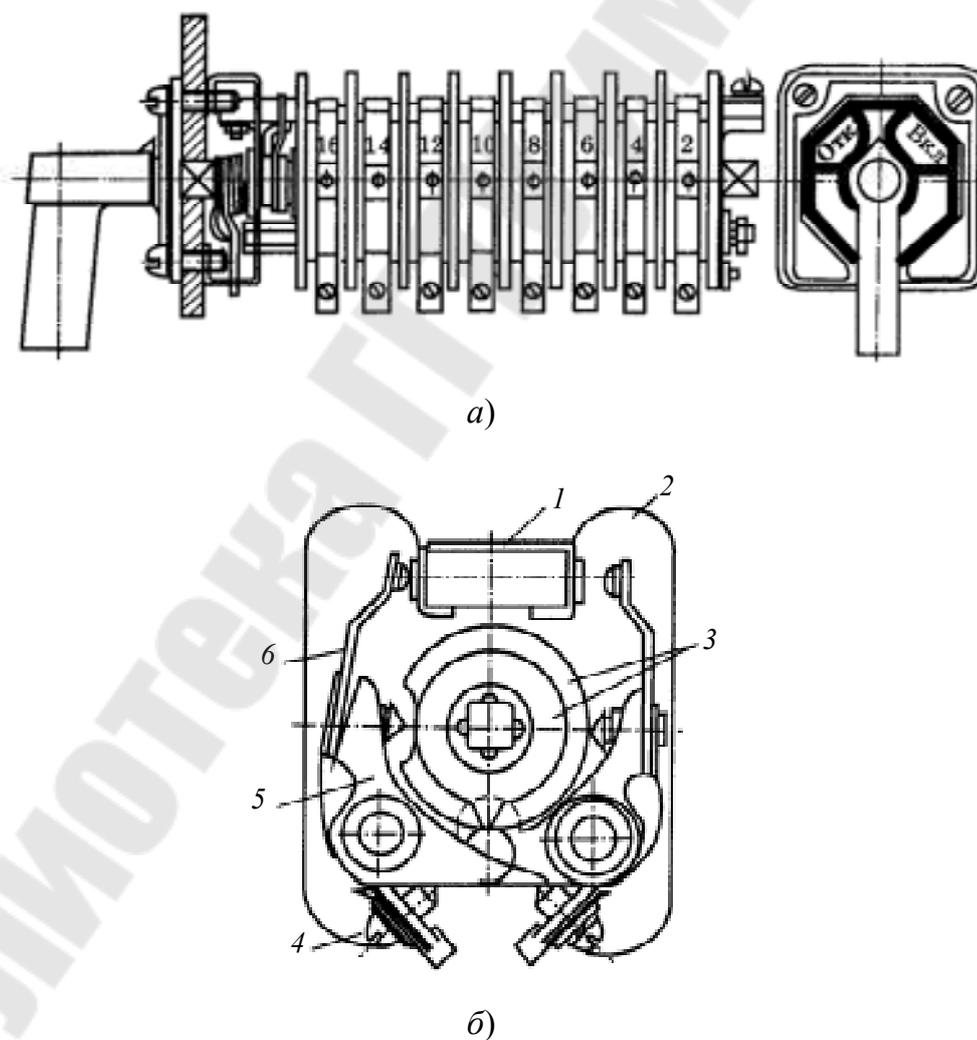


Рис. 2.6. Универсальный переключатель УП5300:
а – общий вид; б – конструкция рабочей секции

Контроллеры

Контроллеры – это многоцепные электрические аппараты с ручным или ножным приводом для непосредственной коммутации силовых цепей двигателей постоянного тока до 440 В и переменного тока до 500 В.

По своей конструкции они разделяются на кулачковые, барабанные, плоские и магнитные. Кулачковые контроллеры могут быть двух типов: силовые и магнитные.

В управлении электродвигателями крановых и других передвижных механизмов используются кулачковые и магнитные контроллеры. У кулачковых контроллеров размыкание и замыкание контактов обеспечивается смонтированными на барабане кулачками, поворот которых осуществляется с помощью рукоятки маховика или педали и могут коммутировать от 2 до 24 электрических цепей.

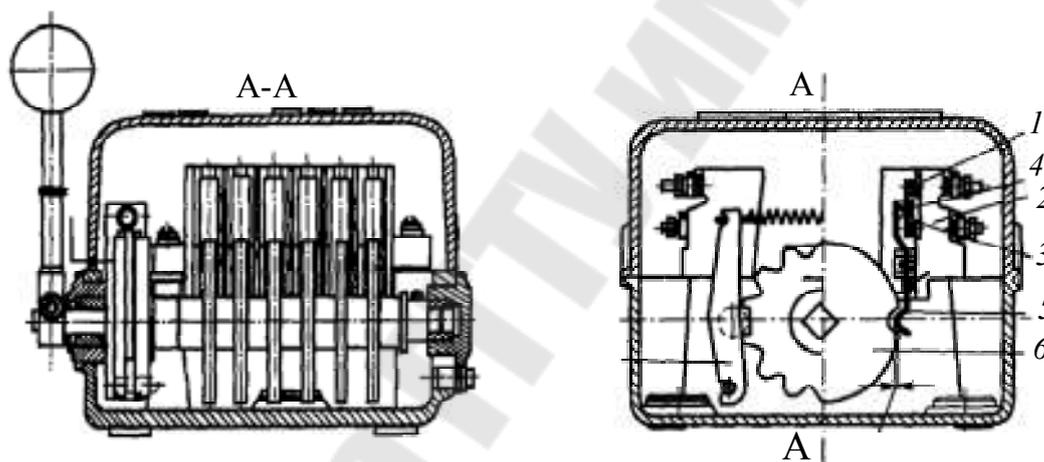


Рис. 2.7. Кулачковый контроллер:

- 1 – неподвижные контакты; 2 – контактодержатель;
- 3 – подвижные контакты; 4 – пружина; 5 – рычаг;
- 6 – переключающая шайба; 7 – фиксатор

Кулачковые контроллеры разделяются по количеству коммутируемых цепей, виду привода, диаграммам замыкания контактов. Внешний вид и конструкция кулачкового контроллера показана на рис. 2.7. Устройство одного контактного элемента кулачкового контроллера представлено на рис. 2.8.

На валике 1 насажены переключающие шайбы 2 с кулачками 3 и 7. При вращении валика 1 кулачок 7 дойдет до ролика 9 и, нажимая на него, повернет рычаг 8 с подвижными контактами 6, которые замкнут неподвижные контакты 5 на плате 4. При повороте рычага 8

под действием пружины 13 защелка 12 входит в вырез рычага и удерживает его после прохода кулачка 7. Быстрое отключение контроллера произойдет под действием пружины 10, когда кулачок 3, нажимая на ролик 11, выведет защелку 12 из выреза рычага 8. Расстановка и число включающих и отключающих кулачков позволяет получить разные комбинации работы контактов контроллера.

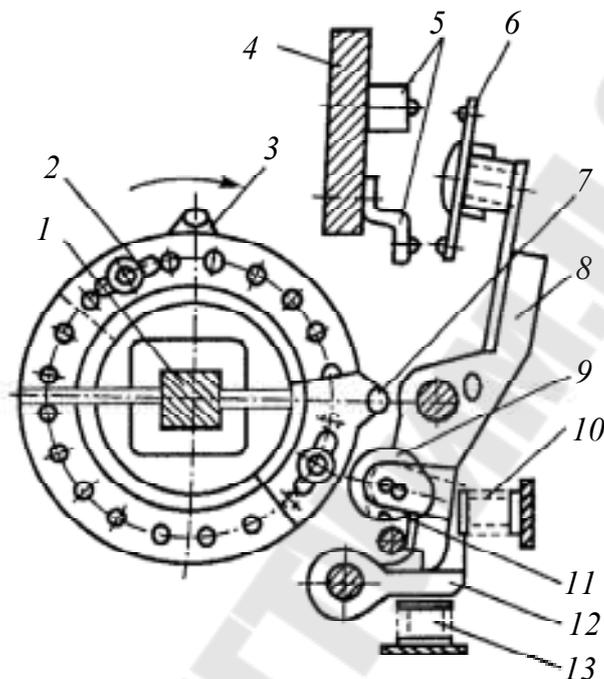


Рис. 2.8. Контактный элемент кулачкового контроллера:
 1 – валик; 2 – переключающая шайба; 3 – кулачок; 4 – плата;
 5 – неподвижные контакты; 6 – подвижные контакты; 7 – кулачок;
 8 – поворотный рычаг; 9 – ролик; 10 – пружина; 11 – ролик;
 12 – защелка; 13 – пружина

Магнитные контроллеры состоят из командоконтроллера и силовых электромагнитных аппаратов – контакторов. Командоконтроллер с помощью своих контактов производит включение или отключение напряжения на катушках контакторов, которые своими силовыми контактами коммутируют цепи электродвигателей. Это позволяет повысить степень автоматизации при управлении электроприводами передвижных механизмов.

Для управления двигателями механизмов передвижения используются магнитные контроллеры трех серий П, Т и К. У контроллеров серии П силовые цепи и цепи управления получают питание от сети постоянного тока, у контроллеров серии Т – от сети переменного тока.

В контроллерах серии К применяются аппараты управления постоянно-го тока, которые более надежны в эксплуатации и допускают большую частоту включений, чем контакторы и реле переменного тока.

Для управления электроприводами подъема применяются несимметричные магнитные контроллеры серий ПС, ТС и КС, которые позволяют получить от двигателей низкие посадочные скорости при спуске грузов. Буква А в обозначении типа контроллера означает, что управление двигателем автоматизировано в функции времени или ЭДС, например ПСА, ТСА.

Магнитные контроллеры используются для приводов средней и большой мощности до 150 кВт с высокой частотой включений.

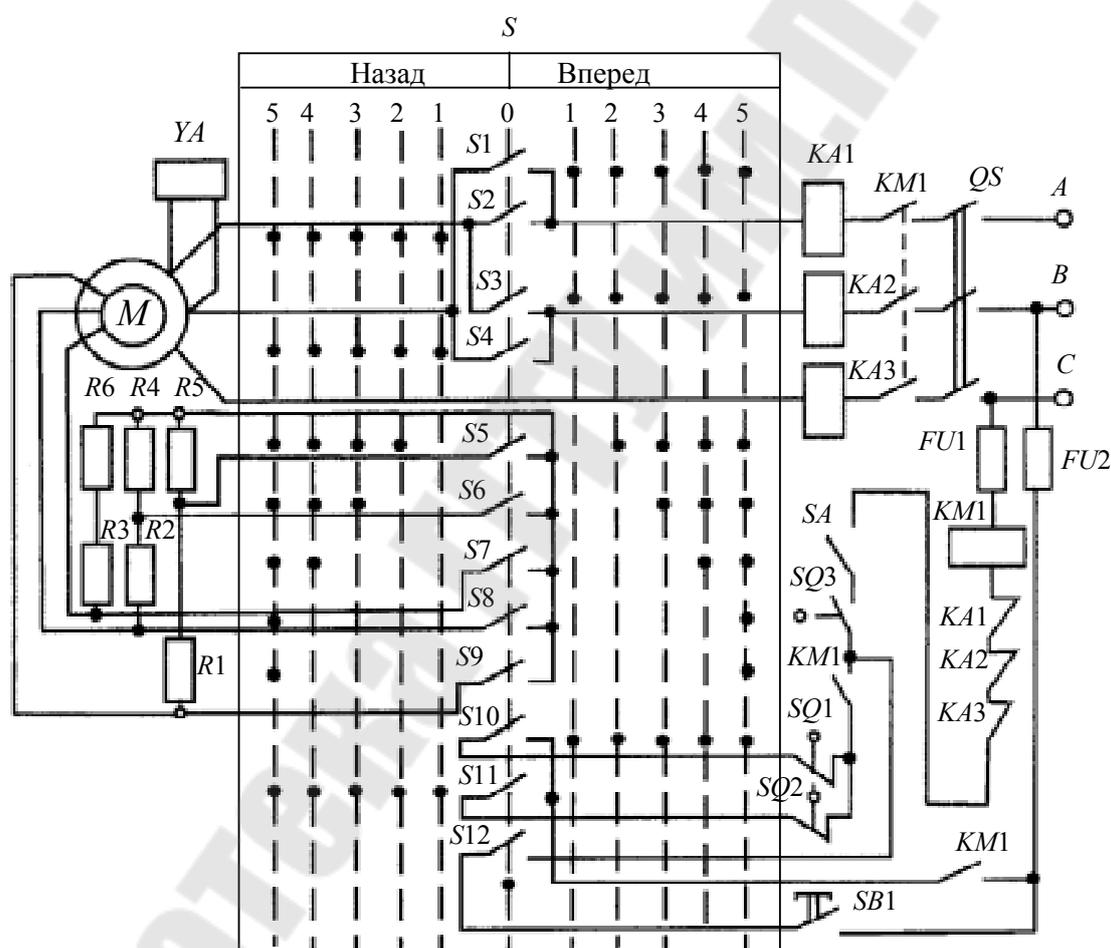


Рис. 2.9. Схема контроллерного управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором

Типовая схема контроллерного управления асинхронным двигателем с фазным ротором показана на рис. 2.9. Управление механизмом передвижения крана осуществляется с помощью кулачкового контроллера S. Контроллер имеет 11 фиксированных положений: одно нулевое 0, пять положений для передвижения вперед и пять поло-

жений для передвижения назад. Контакты $S1-S12$ кулачкового контроллера замыкаются в положениях, отмеченных точками. Например, контакт $S1$ замыкается в положениях 1–5 на движение вперед, а $S12$ – только в нулевом положении. С помощью контактов $S1-S4$ осуществляется реверсирование двигателя M изменением чередования фаз. Контакты $S5-S9$ вводят дополнительные резисторы в цепь ротора, с помощью которых регулируется частота вращения двигателя M . Контакты $S10-S12$ работают совместно с элементами пуска и защиты. Чтобы включить электродвигатель контроллер выводится в нулевое положение, при этом замкнется контакт $S12$. Нажатием на кнопку $SB1$ катушка контактора $KM1$ получит питание по цепи: контакты нулевой защиты $S12$ – контакт $SQ3$ конечного выключателя люка выхода на мост – контакт $SA1$ аварийного отключения – контакты $KA1, KA2, KA3$, осуществляющие максимальную токовую защиту. Контактор включается и дальнейшая его работа будет осуществляться с помощью вспомогательного контакта $KM1$ через контакты конечных выключателей $SQ1$ и $SQ2$ ограничения движения крана в конечных точках – контакты контроллера $S10$ или $S11$.

После включения контактора KM , оператор, поворачивая рукоятку контроллера, подает питание на обмотку статора контактами $S1-S4$ и одновременно последовательно выводит секции резисторов $R1-R6$, включенные в цепь ротора двигателя M , тем самым, изменяя частоту вращения ротора двигателя.

Тема 3. Электрические аппараты дистанционного управления

- Магнитные системы электрических аппаратов постоянного и переменного тока.
 - Электромагниты.
 - Электромагнитные реле.
 - Электромагнитные контакторы.
 - Электромагнитные пускатели.
-

Магнитные системы электрических аппаратов постоянного и переменного тока

Магнитная система является одним из основных элементов электротехнических устройств и электрических аппаратов. В магнитную систему входят источники магнитного поля (обмотка с током,

возбуждающая магнитное поле, постоянный магнит) и система магнитопроводов из ферромагнитного материала, по которым замыкается магнитный поток.

Магнитные системы нашли широкое применение в аппарато-строении и как элемент привода аппаратов (электромагнитные контакторы, пускатели, реле, выключатели), и как устройство, создающее силы, например, в электромагнитных муфтах и тормозных электромагнитах.

Конфигурация магнитной цепи электромагнитных устройств зависит от назначения аппарата и может быть самой разнообразной однородной и неоднородной, неразветвленной и разветвленной, симметричной и несимметричной.

Неразветвленной магнитной цепью называют цепь, через элементы которой замыкается один и тот же магнитный поток.

В разветвленной магнитной цепи содержатся ветви, в каждой из которых замыкаются свои магнитные потоки.

В однородной магнитной цепи, образованной замкнутым магнитопроводом, магнитный поток находится в однородной среде.

Неоднородной называют магнитную цепь, состоящую из участков, имеющих разные сечения, воздушные зазоры, ферромагнитные тела с различными магнитными свойствами.

Из курса физики известна способность вещества под воздействием напряженности внешнего магнитного поля H создавать собственное поле, называемое намагниченностью M , которая характеризуется магнитной восприимчивостью χ .

Вещества, имеющие высокое значение магнитной восприимчивости, называют ферромагнитными или магнитными. К ним относятся железо (Fe), кобальт (Co), никель (Ni), редкоземельные элементы: гадолиний (Gd), диспрозий (Dy) и другие, а также сплавы на базе этих элементов.

Зависимость магнитной индукции B в веществе (материале) от напряженности магнитного поля H носит нелинейный характер: по мере увеличения напряженности H индукция B вначале резко возрастает, а затем приближаясь к области насыщения, процесс намагничивания материала замедляется и прекращается, когда резервы ферромагнетика оказываются исчерпанным.

Если элемент магнитной цепи, например, цилиндр из ферромагнитного материала, поместить в однородное магнитное поле, он на-

магничивается. Если после его намагничивания до состояния насыщения внешнее поле убрать (уменьшить до нуля), то цилиндр явится источником магнитного поля за счет намагниченности материала – остаточной намагниченности. Чтобы разрушить эту остаточную намагниченность, нужно создать внешнее поле, направленное противоположно полю, создаваемому цилиндром, для преодоления задерживающей, так называемой коэрцитивной силы H_c , которая стремится сохранить созданную микротоками намагниченность.

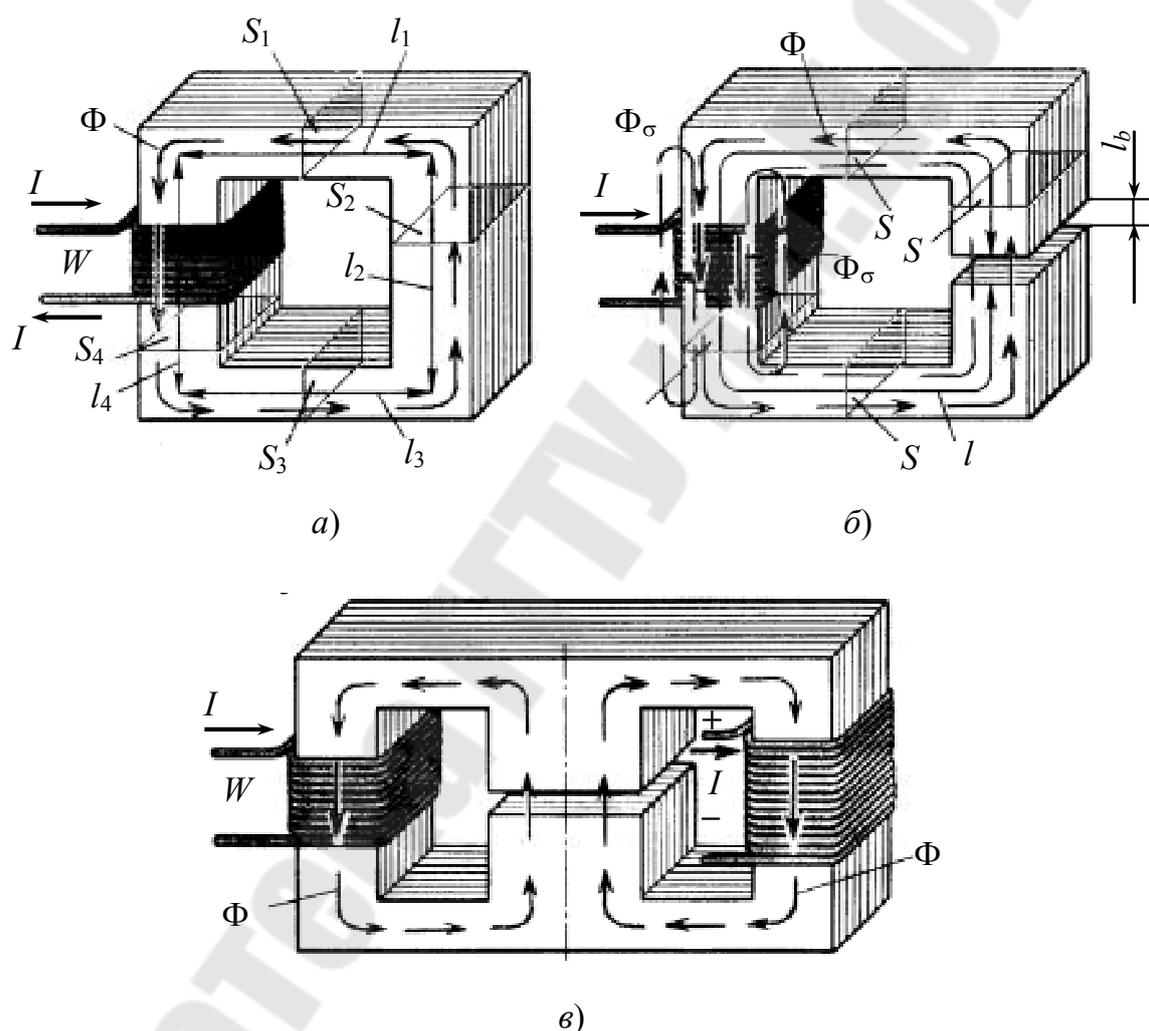


Рис. 3.1. Магнитные цепи:
 а, б – неразветвленная; в – разветвленная

В зависимости от значения коэрцитивной силы H_c все магнитные материалы принято делить на магнитомягкие и магнитотвердые.

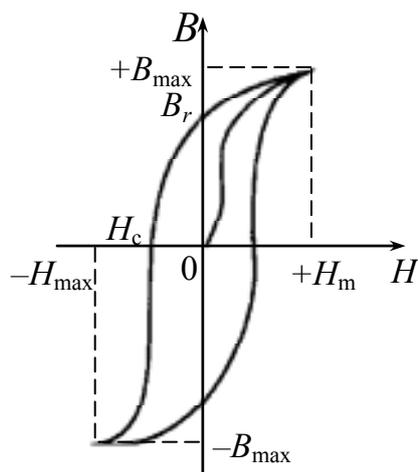


Рис. 3.2. Площадь петли гистерезиса

Рассмотрим магнитную цепь на примере клапанной системы, изображенной на рис. 3.3. Подвижная часть магнитной цепи называется якорем *1*. Часть магнитной цепи, на которой установлена намагничивающая обмотка *2*, называется сердечником *3*. Вертикальные и параллельные части магнитопровода *3* и *4* называют стержнями.

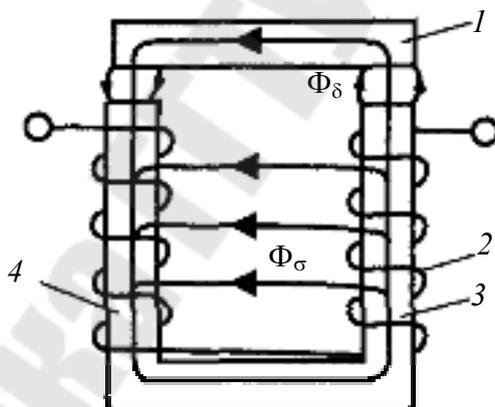


Рис. 3.3. Магнитная цепь клапанной системы: *1* – якорь; *2* – намагничивающая обмотка; *3* и *4* – стержни

Намагничивающая обмотка создает магнитодвижущую силу МДС, под действием которой, возбуждается магнитный поток. Этот поток замыкается как через зазор δ , так и между другими частями магнитной цепи, имеющими различные магнитные потенциалы.

Воздушный зазор δ , меняющийся при перемещении якоря, называется рабочим зазором. Соответственно поток, проходящий через рабочий зазор, называется рабочим потоком и обозначается Φ_δ . Все остальные потоки в магнитной цепи называются потоками рассеяния Φ_σ .

Сила, развиваемая якорем электромагнита, как правило, определяется потоком в рабочем зазоре δ .

Магнитный поток создается током I , протекающим по обмотке катушки. Произведение тока на число витков катушки w определяет намагничивающую силу Iw .

Электромагниты

Электромагниты предназначены для преобразования магнитной энергии в механическую. Они используются для управления различными устройствами и механизмами как элемент привода аппаратов магнитных пускателей, контакторов, реле, как устройство, создающее силы при торможении движущихся механизмов, для удержания деталей на шлифовальных станках, при подъеме (погрузке-разгрузке) металлолома и т. д.

Принцип действия втягивающих электромагнитов (рис. 3.4) заключается в следующем. Постоянный или переменный ток, проходя по катушке 1 , создает магнитный поток, который замыкается через сердечник 2 и якорь 3 . При воздействии магнитного поля сердечника на якорь последний втягивается в катушку и усилие F_3 , с которым будет втягиваться якорь, увеличивается с уменьшением зазора δ между якорем и сердечником; при $\delta = 0$ усилие F_3 достигает максимального значения. Ток в обмотке магнитов постоянного тока остается постоянным, так как он зависит только от активного сопротивления обмотки и напряжения питающей сети, которые не зависят от величины воздушного зазора.

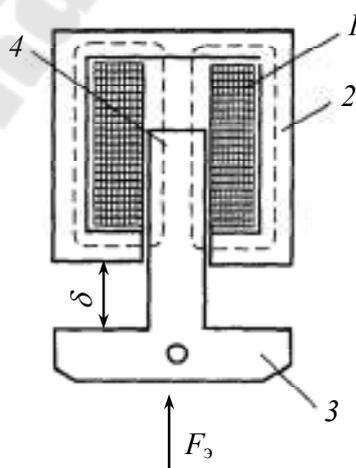


Рис. 3.4. Втягивающий электромагнит:
1 – катушка; 2 – неподвижная часть магнитопровода;
3 – якорь; 4 – магнитный поток

В электромагнитах переменного тока сила тока с уменьшением зазора δ понижается. Это объясняется тем, что при наименьшем зазоре δ индуктивность обмотки, зависящая от величины зазора, будет максимальной. Ток, определяемый активным и индуктивным сопротивлениями, будет минимальным.

Важнейшей характеристикой электромагнита является механическая (тяговая) характеристика (рис. 3.5) представляющая собой зависимость усилия развиваемого электромагнитом F_3 от величины воздушного зазора δ .

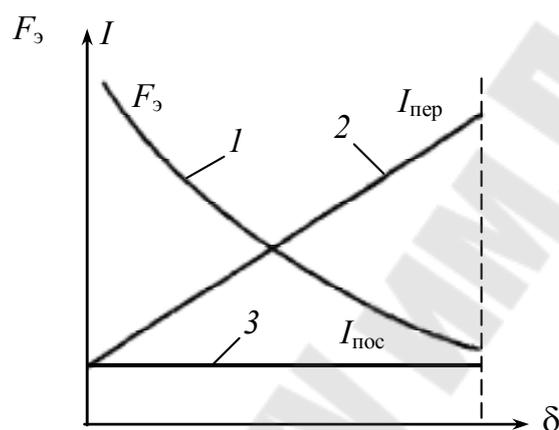


Рис. 3.5. Механическая характеристика электромагнита

Вид механической характеристики определяется главным образом конструкцией электромагнита, характером изменения зазора δ , жесткостью противодействующей пружины, геометрией магнитной системы.

Ток в обмотке магнитов постоянного тока остается постоянным, так как он зависит только от активного сопротивления обмотки и напряжения питающей сети, которые не зависят от величины воздушного зазора.

В электромагнитах переменного тока сила тока с уменьшением зазора δ понижается. Это объясняется тем, что при наименьшем зазоре δ индуктивность обмотки, зависящая от величины зазора, будет максимальной. Ток, определяемый активным и индуктивным сопротивлениями, будет минимальным.

Реле. Электрическим реле называется коммутационное устройство, предназначенное производить скачкообразные изменения в управляемых цепях при заданном значении электрических воздействующих величин.

Реле составляют многочисленную группу электрических аппаратов, применяемых для управления электроприводами станков, механизмов, машин.

В зависимости от параметра срабатывания различают реле напряжения, тока, мощности, частоты и т. д.

К реле предъявляются требования, из которых наиболее важные – надежность срабатывания при изменении питающего напряжения $(85-100\%)U_{\text{ном}}$, высокая механическая и электрическая износостойчивость.

Принцип действия реле основан на электромагнитном, магнитоэлектрическом или индукционном принципе.

Электромагнитные реле

На рис. 3.6 приведена конструкция электромагнитного реле. Контактная система реле состоит из неподвижных контактов 2, зафиксированных в пластмассовом основании 1, и подвижных контактов на плоских пружинах 3, закрепленных в пластмассовой колодке 5 на якоре электромагнита. Электромагнит содержит магнитопровод 9, сердечник 7, катушку 8 и якорь 4. Магнитопровод крепится к пластмассовому основанию 1 с помощью винта 11.

Подключение реле к внешним электрическим цепям осуществляется выводами 10.

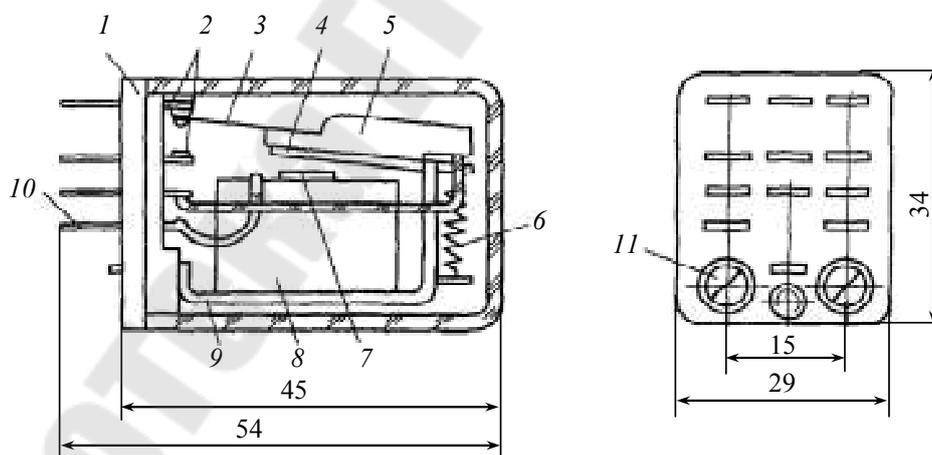


Рис. 3.6. Конструкция электромагнитного реле

Работает реле следующим образом. При подаче напряжения на обмотку катушки якорь реле под действием электромагнитных сил притягивается к сердечнику, осуществляя изменение коммутационного состояния контактов. При отключении напряжения в цепи катушки якорь под действием пружины 6 и плоских пружин замыкающих

контактов возвращается в исходное состояние, а контакты принимают первоначальное положение.

Электротехническая промышленность выпускает различные реле, которые отличаются друг от друга принципом действия, конструктивным исполнением.

В качестве промежуточных применяются также реле серий РП-23, РП-25, РП-321, РП-341, РП-42 и ряд других, которые могут использоваться и как реле напряжения.

Электромагнитные контакторы

Электромагнитный контактор – это двухпозиционный аппарат с самовозвратом дистанционного управления, предназначенный для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальных режимах работы.

Исполнение контакторов одно- пятиполюсное с управлением на постоянном или переменном токе частотой 50, 60 Гц независимо от рода тока главной цепи и работают в продолжительном, кратковременном или повторно-кратковременном режимах.

Основные технические данные контакторов:

- номинальный ток главных контактов $I_{\text{ном}}$;
- предельный отключаемый ток (ток коммутации) $I_{\text{к}}$;
- номинальное напряжение коммутируемой цепи $U_{\text{ном}}$;
- допустимое число включений в час;
- собственное время включения и отключения.

Для управления электродвигателей большой мощности применяются общепромышленные серии контакторов: переменного тока КТ, КТП, КТВ; постоянного тока КП, КПВ, КПД.

Важными параметрами для контакторов переменного и постоянного тока являются: собственное время включения $t_{\text{в}}$, собственное время отключения $t_{\text{откл}}$, коэффициент возврата $K_{\text{в}}$, который определяется по формуле:

$$K_{\text{в}} = \frac{U_{\text{отп}}}{U_{\text{ср}}}, \quad (3.6)$$

где $U_{\text{отп}}$ – напряжение, при котором происходит отпускание якоря при уменьшении напряжения, подаваемого на катушку, В;

$U_{\text{ср}}$ – напряжение, при котором якорь притягивается к полюсам электромагнита, В.

Для контакторов постоянного тока коэффициент возврата имеет низкое значение в пределах 0,2–0,3, что не позволяет использовать их для защиты двигателей от работы на пониженном напряжении сети.

Контакторы, работающие на переменном токе имеют коэффициент возврата в пределах 0,6–0,7, что позволяет отключать, управляемые ими электродвигатели при снижении по каким-либо причинам напряжение сети до $(0,6–0,7)U_{\text{ном}}$.

Наибольшее напряжение на катушке не должно превышать 110 % $U_{\text{ном}}$, так как при большем напряжении увеличивается износ контактов из-за усилия ударов якоря, а также температура нагрева обмотки может превысить допустимое значение. Электромагниты контакторов должны обеспечивать надежную работу в диапазоне колебания питающего напряжения $(85–110\%)U_{\text{ном}}$ [1].

Для управления трехфазными электродвигателями переменного тока широко применяются контакторы поворотного типа серии КТ6000 с щелевыми дугогасительными камерами и магнитным дутьем и КТ7000 с дугогасительными решетками для тяжелых режимов работы в цепях переменного тока. На рис. 3.7 показана конструктивная схема контактора КТ6000. На металлической рейке 14 крепятся узлы неподвижных контактов 12 вместе с системами магнитного дутья – катушкой 10, сердечником 9. Боковыми стальными пластинами 2 и дугогасительными камерами 3. На рейке 14 установлены сердечник электромагнита, неподвижная часть вспомогательных контактов 1 и крепятся опоры подшипников 5 для главного вала 6. Наружная часть вала 8 изолирована, на нем установлены подвижные контакты 11 с контактными пружинами 13 и гибкими связями 7 (три полюса), подвижная часть вспомогательных контактов 1 и якорь электромагнита 4.

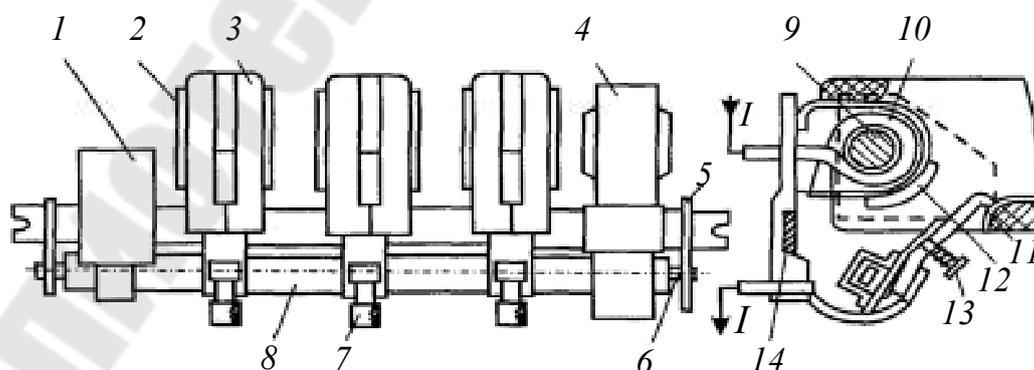


Рис. 3.7. Электромагнитный контактор переменного тока серии КТ6000

Электромагнитные пускатели

Электромагнитный пускатель (малогабаритный контактор) – коммутационный аппарат, предназначенный для управления и защиты электродвигателей переменного тока, разработанный на базе контакторов.

Электромагнитные пускатели с прямоходовой подвижной системой серии ПМЛ (рис. 3.8) широко применяются при управлении электродвигателями станков, механизмов и машин.

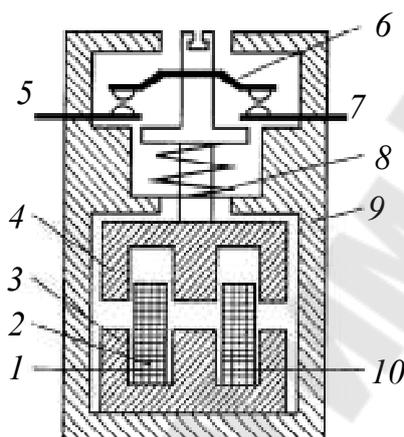


Рис. 3.8. Конструкция электромагнитного пускателя серии ПМЛ

Электромагнитные пускатели имеют различное исполнение: нереверсивные и реверсивные, с тепловым реле и без них, открытого, защищенного или пылебрызгозащищенного исполнения.

Электромагнитный пускатель должен устойчиво работать и не отключать установку при напряжении $0,85 \cdot U_{\text{ном}}$.

Структура условного обозначения электромагнитных пускателей серии ПМЛ

ПМЛ-1 2 3 4 5 6 7 8

ПМЛ – пускатель электромагнитный;

1 – Величина пускателя по номинальному току (1 – 10 А; 2 – 25 А; 3 – 40 А; 4 – 63 А; 5 – 80 А; 6 – 125 А; 7 – 200 А).

2 – Исполнение пускателей по назначению и наличию теплового реле (1 – нереверсивный без теплового реле; 2 – нереверсивный с тепловым реле; 5 – реверсивный без теплового реле с электрической и механической блокировками; 6 – реверсивный пускатель с тепловым реле с электрической и механической блокировками; 7 – пускатель «звезда – треугольник»).

- 3 – Исполнение пускателя по степени защиты и наличию кнопок.
- 4 – Количество контактов вспомогательной цепи.
- 5 – Сейсмическое исполнение пускателей.
- 6, 7 – Климатическое исполнение и категория размещения.
- 8 – Исполнение по износостойкости.

Электромагнитный пускатель серии ПМ12. Новая серия электромагнитных пускателей ПМ12 соответствует международным нормам IEC 947 и требованиям перспективного технического уровня мирового аппаратостроения.

Конструкция пускателя ПМ12 представлена на рисунке. 3.9.

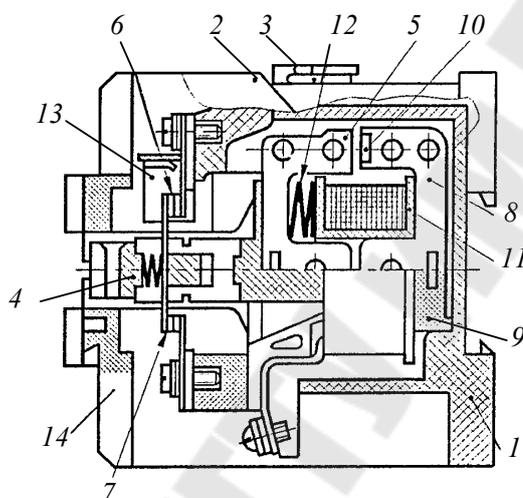


Рис. 3.9. Устройство пускателя типа ПМ12

Пускатель имеет прямоходовую Ш-образную магнитную систему, заключенную в пластмассовый корпус, состоящий из основания 1 и дугогасительной камеры 2, которые соединены между собой двумя пружинными скобами 3.

По направляющим дугогасительной камеры 2 скользит траверса 4, на которой укреплены: якорь 5, мостики главных контактов 6 и вспомогательного контакта 7. Сердечник 8 крепится к основанию 1 при помощи амортизаторов 9, которые служат для смягчения удара во время включения. На крайних кернах сердечника крепятся короткозамкнутые витки 10, обеспечивающие бесшумную работу пускателя, снижая вибрацию контактов. На среднем керне сердечника расположена втягивающая катушка 11, опирающаяся на амортизаторы, и возвратная пружина 12.

Для гашения дуги используются П-образные скобы 13, которые установлены в камере. Камера закрывается крышкой 14 с помощью защелок.

Отличительной особенностью новой серии пускателей ПМ12 является крепление их не винтами к вертикальному основанию, а на DIN-рейку.

Пускатели предназначены для применения в качестве комплектующих изделий в схемах управления электроприводами, главным образом для применения в стационарных установках для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором при напряжении до 660 В переменного тока частоты 50 и 60 Гц.

При наличии теплового реле пускатели осуществляют защиту управляемых электродвигателей от перегрузки недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз.

Для увеличения количества вспомогательных контактов пускатели допускают установку контактных приставок с набором замыкающих и размыкающих контактов.

Структура условного обозначения пускателей серии ПМ12

ПМ12-1 2 3 4 5 6 7 8 9

ПМ12 – обозначение серии.

123 – Цифры, указывающие величину магнитного пускателя по номинальному току.

4 – Исполнение по назначению и наличию теплового реле:

1 – нереверсивный без теплового реле.

2 – нереверсивный с тепловым реле.

5 – реверсивный без тепловых реле.

6 – реверсивный с тепловым реле.

5 – Исполнение по степени защиты и наличию кнопок.

6 – Количество и вид контактов вспомогательной цепи.

7 – Климатическое исполнение.

8 – Категория размещения.

9 – Исполнение по износостойкости.

Дистанционное управление асинхронным электродвигателем с помощью электромагнитного пускателя (контактора) представлено на схеме (рис. 3.10) и реверсивного управления на схеме (рис. 3.11).

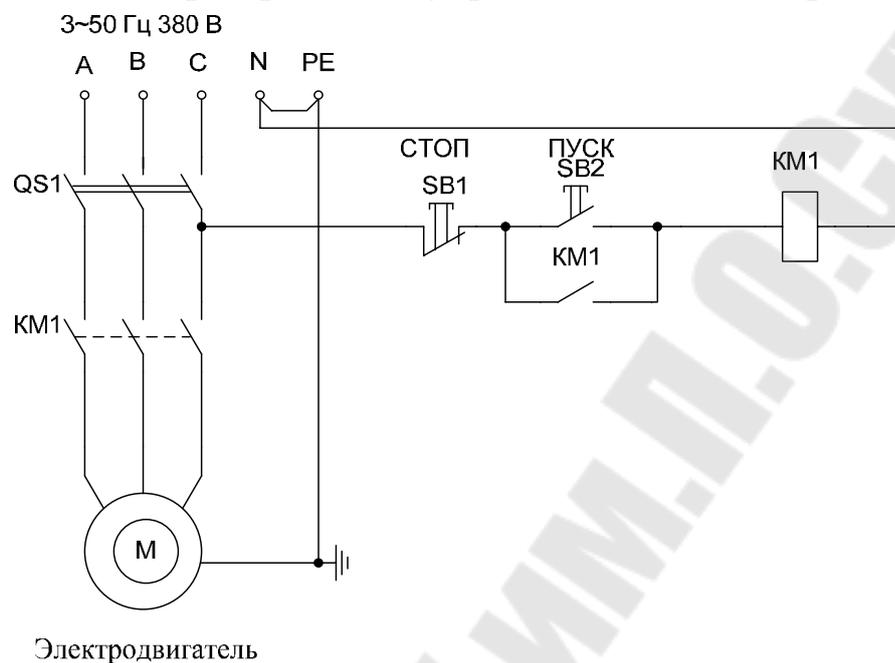


Рис. 3.10. Схема электрическая принципиальная управления асинхронным электродвигателем

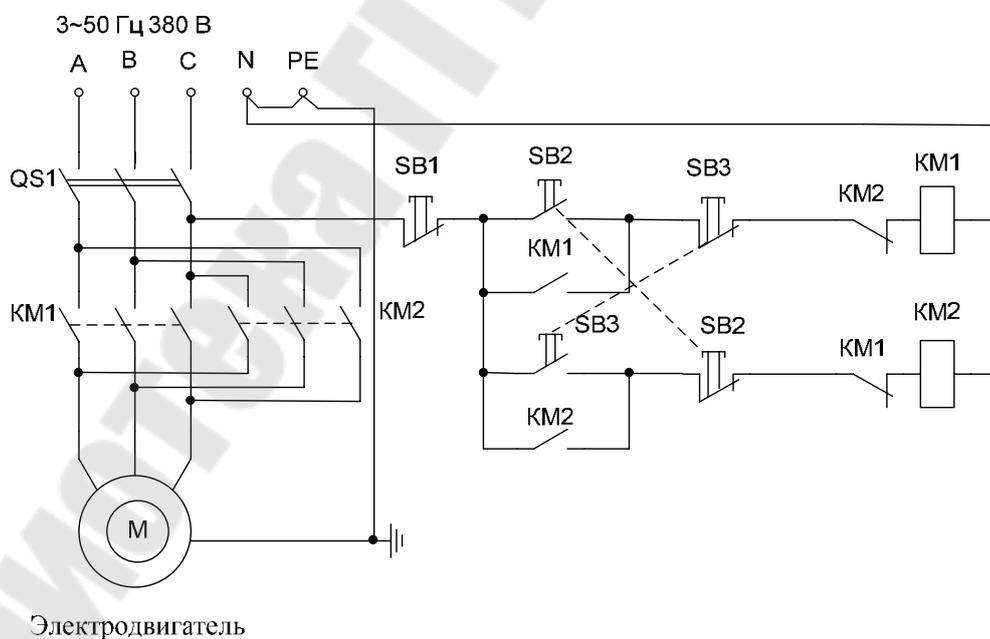


Рис. 3.11. Схема электрическая принципиальная реверсивного управления асинхронным электродвигателем

Напряжение сети включается выключателем QS1, тем самым подается напряжение сети на силовую часть схемы и цепи управления.

Для включения электродвигателя необходимо нажать кнопку SB2. При этом катушка электромагнитного пускателя получает питание, пускатель срабатывает – замыкаются главные (силовые) контакты, которые подают напряжение сети на обмотку статора электродвигателя. Электродвигатель начинает вращение. Одновременно замыкаются вспомогательные замыкающие контакты, включенные параллельно контактам кнопки SB2, которые блокируют пусковую кнопку SB2, в результате катушка пускателя будет получать питание через замыкающие контакты пускателя KM1.

Для останова электродвигателя достаточно нажать стоповую кнопку SB1. Катушка электромагнитного пускателя теряет питание и пускатель отключается и отключает электродвигатель от сети.

Реверсивное управление асинхронными электродвигателями осуществляется изменением чередования фаз трехфазной электрической сети. Для реализации реверсивного управления потребуются два электромагнитных пускателя, один из которых KM1 подключает напряжение сети к обмотке статора электродвигателя с чередованием фаз А-В-С, а второй KM2 изменяет чередование фаз в последовательности С-В-А.

Тема 4. Электрические аппараты защиты

- Плавкие предохранители.
 - Электротепловые реле.
-

При эксплуатации электрооборудования и электрических сетей длительные перегрузки проводов и кабелей, а также короткие замыкания вызывают повышение температуры токопроводящих жил выше допустимых значений. Это приводит к преждевременному изнашиванию их изоляции, вследствие чего может произойти пожар или взрыв во взрывоопасных помещениях, а также поражение людей электрическим током.

Для предохранения от чрезмерного нагрева проводов, кабелей и токопроводящих частей электрооборудования каждый участок электрической сети должен быть снабжен защитным аппаратом, обеспечивающим отключение аварийного участка при непредвиденном увеличении токовой нагрузки сверх длительно допустимой.

Аппаратом защиты называется аппарат, автоматически отключающий защищаемую электрическую цепь при ненормальных режимах [1].

К аппаратам защиты относятся: плавкие предохранители, автоматические выключатели, тепловые и токовые реле.

Согласно [1], защита электродвигателей и электрической сети осуществляется от коротких замыканий (КЗ): однофазных, междуфазных и перегрузки.

Защита от коротких замыканий выполняется обязательно для всех электродвигателей (электроприемников) и электрических сетей.

Защита от перегрузки выполняется для электродвигателей продолжительного режима работы, за исключением случаев, когда такая перегрузка маловероятна (электродвигатели вентиляторов, насосов и т. д.).

Для электродвигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, например, грузоподъемные механизмы, защита от перегрузки не выполняется.

Плавкие предохранители

Предохранитель – это коммутационный электрический аппарат, предназначенный для отключения защищаемой цепи разрушением специально предусмотренных для этого токоведущих частей под действием тока, превышающего определенное значение.

В плавких предохранителях отключение цепи происходит за счет расплавления плавкой вставки, которая нагревается протекающим через нее током защищаемой цепи. После отключения цепи необходимо заменить плавкую вставку исправной.

Предохранитель включается последовательно в защищаемую цепь, а для создания видимого разрыва электрической цепи и безопасного обслуживания совместно с предохранителями применяются неавтоматические выключатели или рубильники.

Предохранители изготавливаются на напряжение переменного тока 42, 220, 380, 660 В и постоянного тока 24, 110, 220, 440 В.

Основными элементами предохранителя являются корпус, плавкая вставка (плавкий элемент), контактная часть, дугогасительное устройство и дугогасительная среда.

Предохранители характеризуются номинальным током плавкой вставки, т. е. током, на который рассчитана плавкая вставка для длительной работы. В один и тот же корпус предохранителя могут быть вставлены сменные плавкие элементы на различные номинальные токи, поэтому сам предохранитель характеризуется номинальным током

предохранителя (основания), который равен наибольшему из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данной конструкции предохранителя. Например, предохранители серии ПН2 и ПР2 имеют сменные плавкие вставки. Так предохранитель серии ПН2-100 имеет корпус, рассчитанный на ток до 100 А и сменные плавкие вставки на токи 30, 40, 50, 60, 80, 100 А.

Предохранители до 1 кВ изготавливаются на номинальные токи до 1000 А.

В нормальном режиме тепло, выделяемое током нагрузки в плавкой вставке, передается в окружающую среду, и температура всех частей предохранителя не превышает допустимую. При перегрузке или КЗ температура вставки увеличивается и она расплавляется. Чем больше протекающий ток, тем меньше время плавления. Зависимость времени плавления плавкой вставки от величины тока (кратности тока срабатывания по отношению к номинальному току плавкой вставки) называется защитной (время – токовой) характеристикой предохранителя (рис. 4.1.). При одном и том же токе время плавления плавкой вставки зависит от многих причин (материала вставки, состояния ее поверхности, условий охлаждения и т. д.). Чтобы уменьшить время срабатывания предохранителя, применяются плавкие вставки из разного материала, специальной формы, а также используется металлургический эффект.

Наиболее распространенными материалами плавких вставок являются медь, цинк, алюминий, свинец и серебро.

Медные вставки подвержены окислению, их сечение со временем уменьшается и защитная характеристика предохранителя изменяется. Для уменьшения окисления обычно применяют луженые медные вставки. Температура плавления меди 1080 °С, поэтому при токах, близких к минимальному току плавления, температура всех элементов предохранителя значительно возрастает.

Цинк и свинец имеют низкую температуру плавления (419 °С и 327 °С), что обеспечивает небольшой нагрев предохранителей в продолжительном режиме.

Цинк стоек к коррозии, поэтому сечение плавкой вставки не меняется во время эксплуатации, защитная характеристика остается постоянной. Цинк и свинец имеют большие удельные сопротивления, поэтому плавкие вставки оказываются большого сечения. Такие плавкие вставки обычно применяются в предохранителях без наполнителей. Предохранители со вставками из цинка и свинца имеют большие выдержки времени при перегрузках.

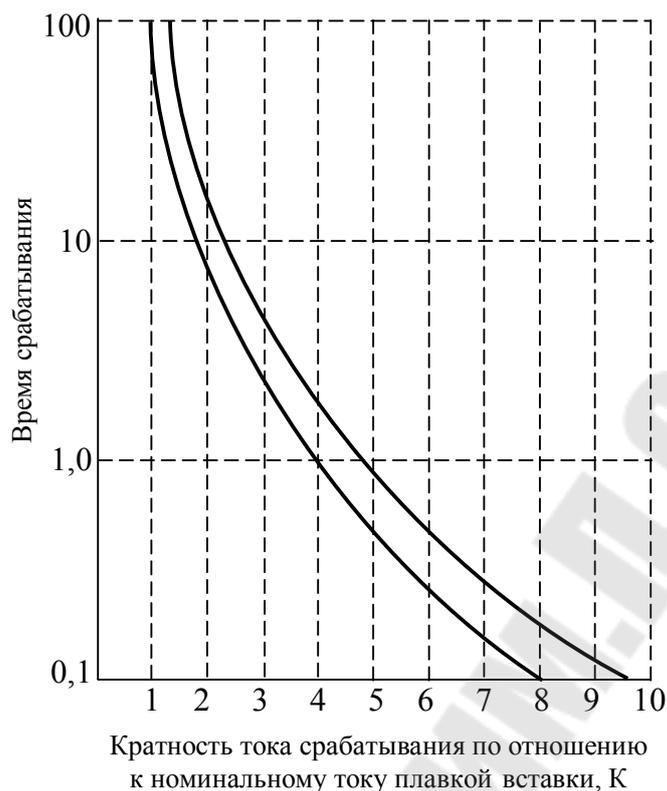


Рис. 4.1. Защитная характеристика плавкого предохранителя

Серебряные вставки не окисляются, и их характеристики наиболее стабильны.

Алюминиевые вставки применяются в предохранителях в связи с дефицитом цветных металлов. Высокое сопротивление окисных пленок на алюминии затрудняет осуществление надежного разъемного контакта. Алюминиевые вставки находят применение в новых конструкциях предохранителей серии ППЗ1.

При больших токах плавкие вставки предохранителей выполняются из параллельных проволок или тонких медных полос.

Для ускорения плавления вставок из меди и серебра используется металлургический эффект – явление растворения тугоплавких металлов в расплавленных, менее тугоплавких. Если, например, на медную проволоку диаметром 0,25 мм напаять шарик из оловянно-свинцового сплава с температурой плавления 182 °С, то при температуре проволоки 650 °С она расплавится в течение 4 мин, а при 350 °С – в течение 40 минут. Та же проволока без растворителя плавится при температуре не менее 1000 °С [7]. Для создания металлургического эффекта на медных и серебряных вставках применяют чистое олово, обладающее более стабильными свойствами. В нормальном режиме работы шарик практически не влияет на температуру вставки.

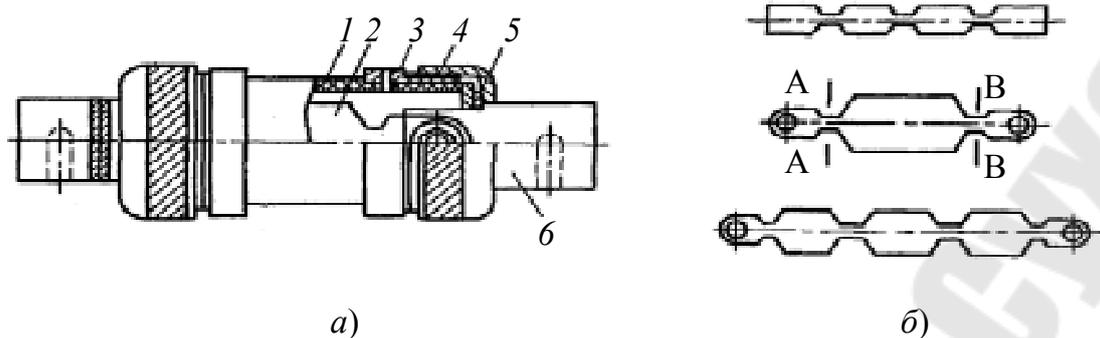


Рис 4.2. Плавкий предохранитель серии ПР2:
a – патрон; *б* – формы плавких вставок

Ускорение плавления вставки достигается также применением плавкой вставки специальной формы (рис. 4.2, *б*). При токах КЗ узкие участки нагреваются настолько быстро, что отвод тепла почти не происходит. Вставка перегорает одновременно в нескольких суженных местах (сечение А – А и В – В, рис. 4.2, *б*) прежде, чем ток КЗ достигнет своего установившегося значения в цепи постоянного тока или ударного тока в цепи переменного тока (рис. 4.3).

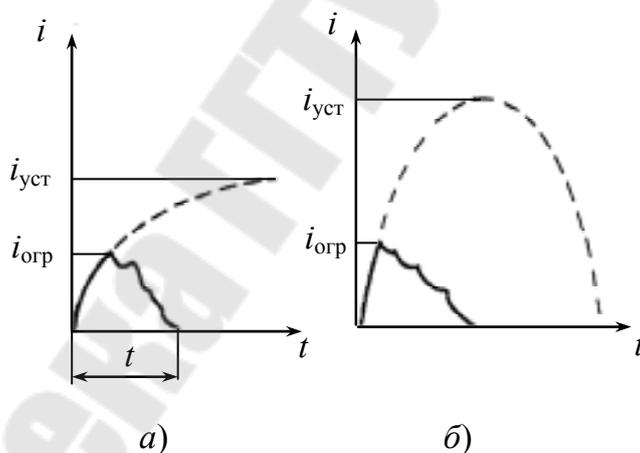


Рис. 4.3. Токоограничивающий эффект плавких вставок предохранителей: *a* – при постоянном токе; *б* – при переменном токе

Ток КЗ при этом ограничивается до значения $i_{огр}$ (в 2–5 раз). Такое явление называется токоограничивающим действием и улучшает условия дугогашения в предохранителях.

Гашение электрической дуги, возникающей после перегорания плавкой вставки, должно осуществляться в возможно короткое время. Время гашения дуги зависит от конструкции предохранителя.

Наибольший ток, который плавкий предохранитель может отключать без каких-либо повреждений или деформаций, называется предельным током отключения.

Предохранители получили широкое применение для защиты электродвигателей, электрооборудования, электрических сетей в промышленных, бытовых электроустановках и имеют различную конструкцию.

Плавкие предохранители наряду с простотой их устройства и малой стоимостью имеют ряд существенных недостатков:

- не могут защитить линию от перегрузки, так как допускают длительную перегрузку до момента плавления;
- не всегда обеспечивают избирательную защиту в сети вследствие разброса их характеристик;
- при коротком замыкании в трехфазной сети возможно срабатывание одного из трех предохранителей и линия остается работать на двух фазах.

В этом случае трехфазные электродвигатели, подключенные к сети, оказываются включенными на две фазы, а это приводит к перегреву обмоток электродвигателей и их выходу из строя.

Предохранители с закрытыми разборными корпусами (патронами) без наполнителя серии ПР2 (рис. 4.2) изготавливаются на напряжение 220 и 500 В и номинальные токи 100–1000 А. Патрон предохранителя ПР2 (рис. 4.2, *а*) на токи 100 А и выше состоит из толстостенной фибровой трубки 1, на которую плотно насажены латунные втулки 3, имеющие мелкую резьбу. На трубки навинчиваются латунные колпачки 4, которые закрепляют плавкую вставку 2, привинченную к ножам 6, до установки ее в патрон. В предохранителях этой серии предусмотрена шайба 5, имеющая паз для ножа и предотвращающая поворот ножей.

Патрон вставляется в неподвижные контактные стойки, укрепленные на изоляционной плите. Необходимое контактное нажатие обеспечивается пружинами.

Плавкие вставки изготавливаются из цинка в виде пластины с вырезами. На суженных участках выделяется больше тепла, чем на широких. При номинальном токе избыточное тепло благодаря теплопроводности цинка передается широким частям, поэтому вся вставка имеет примерно одинаковую температуру. При перегрузках нагрев узких участков происходит быстрее, и вставка плавится в самом горячем месте (сечение А – А, рис. 4.2, *б*).

При КЗ вставка плавится в узких сечениях А – А и В – В. Возникающая дуга вызывает образование газов (50 % CO_2 , 40 % H_2 , 10 % паров H_2O), так как стенки патрона выполнены из газогенерирующего материала – фибры. Давление в зависимости от отключаемого тока может достигать 10 МПа и более, что обеспечивает быстрое гашение дуги и токоограничивающее действие предохранителя. Для уменьшения возникающего при отключении тока КЗ перенапряжения плавкая вставка имеет несколько суженных мест. При их поочередном плавлении полная длина дугового промежутка вводится в цепь не сразу, а ступенями.

Предохранители насыпные серии ПН2 (рис. 4.4) широко применяются для защиты силовых цепей до 500 В переменного и 440 В постоянного тока и выпускаются на номинальные токи 100–1000 А.

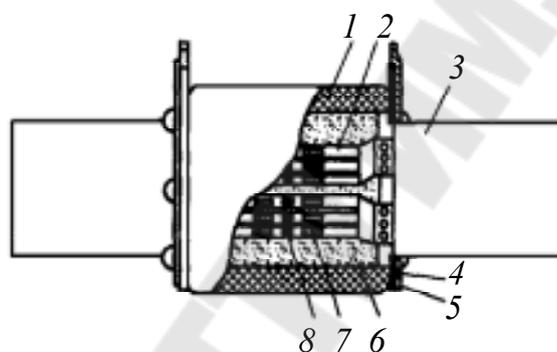


Рис. 4.4. Плавкий предохранитель серии ПН2

Фарфоровая, квадратная снаружи и круглая внутри, трубка 1 имеет четыре резьбовых отверстия для винтов, с помощью которых крепится крышка 4 с уплотняющей прокладкой 5. Плавкая вставка 2 приварена электроконтактной точечной сваркой к шайбам контактных ножей 3. Крышки с асбестовыми прокладками герметически закрывают трубку. Трубка заполнена сухим кварцевым песком 6. Плавкая вставка выполнена из одной или нескольких медных ленточек толщиной 0,15–0,35 мм и шириной до 4 мм. На вставке сделаны прорезы 7, уменьшающие сечение вставки в 2 раза. Для снижения температуры плавления вставки используется металлургический эффект – на полоски меди напаяны шарики олова 8, температура плавления в этом случае не превышает 475 °С, дуга возникает в нескольких параллельных каналах (в соответствии с числом вставок); это обеспечивает наименьшее количество паров металла в канале между зёрнами кварца и наилучшие условия гашения дуги в узкой щели. Насыпные

предохранители, так же как предохранители серии ПР2, обладают токоограничивающим свойством.

Для уменьшения возникающих перенапряжений плавкая вставка имеет по длине прорези, причем их количество зависит от номинального напряжения предохранителя (из расчета 100–150 В на участок между прорезями). Так как вставка сгорает в узких местах, то длинная дуга оказывается разделенной на ряд коротких дуг, суммарное напряжение, которых не превышает суммы катодных и анодных падений напряжения [7].

Наполнителем в предохранителях серии ПН является чистый кварцевый песок (99 % SiO_2). Вместо кварца может быть применен мел (CaCO_3), иногда его смешивают с асбестовым волокном. При возникновении дуги мел разлагается с выделением углекислого газа CO_2 и CaO – тугоплавкого материала. Реакция происходит с поглощением энергии, что способствует гашению дуги.

Предельный отключаемый ток предохранителей серии ПН2 достигает 50 кА.

Насыпные предохранители серии НПН имеют неразборный стеклянный патрон без контактных ножей и рассчитаны на токи до 60 А.

Взамен предохранителей ПН2 разработаны предохранители серии ПП-31 с алюминиевыми вставками на номинальные токи 63–1000 А и имеющие предельный ток отключения до 100 кА при напряжении 660 В.

Предохранители серии ПП-17 изготавливаются на токи 500–1000 А, напряжение переменного тока 380 В и постоянного тока 220 В. Предельная отключающая способность предохранителей ПП-17 100–120 кА. Предохранитель состоит из плавкого элемента, помещенного в керамический корпус, заполненный кварцевым песком, указателя срабатывания и свободного контакта. При расплавлении плавкого элемента предохранителя перегорает плавкий элемент указателя срабатывания, освобождая введенный при сборке указателя боек, который переключает свободный контакт, и замыкается цепь сигнализации срабатывания предохранителя.

Для защиты полупроводниковых приборов разработаны быстродействующие предохранители серии ПП-41, ПП-57, ПП-59, ПП-71. Эти предохранители выполняются с плавкими вставками из серебряной фольги в закрытых патронах с засыпкой кварцевым песком. Они рассчитаны на установку в цепях переменного тока напряжением

380–1250 В и постоянного тока 230–1050 В. Электротехническая промышленность изготавливает предохранители на номинальные токи 100–2000 А, предельные токи отключения до 200 кА. Эти предохранители обладают эффективным токоограничивающим действием.

В схемах управления станков, механизмов, машин, а также в системах электроснабжения жилых и общественных зданий широко применяются пробочные плавкие предохранители серии ПРС. Номинальный ток корпуса 6; 25; 63; 100 А.

Электротепловые реле

Для защиты электрических двигателей и другого электрооборудования от длительных перегрузок широко распространены тепловые реле с биметаллическими элементами. Биметаллический элемент состоит из двух пластин с различным коэффициентом линейного расширения (α) при нагревании. Пластины жестко скреплены друг с другом за счет проката в горячем состоянии, либо контактной сваркой. В качестве материалов для термобиметаллических элементов применяются такие материалы, как инвар, имеющий малое значение α , и хромоникелевая (нержавеющая) сталь, имеющая большое значение α .

Если биметаллический элемент закрепить с одной стороны неподвижно и нагреть, то произойдет изгибание пластины в сторону материала с меньшим коэффициентом линейного расширения α . Изгибаясь, биметаллическая пластина действует на защелку и при этом происходит переключение контактов реле. Тепловые реле могут иметь размыкающий или замыкающий и замыкающий контакты. В схемах управления и защиты электродвигателей используются замыкающие контакты реле, действующие на срабатывание сигнального устройства, или размыкающие контакты реле – на отключение электродвигателя от сети.

Нагрев биметаллического элемента может производиться за счет тепла, выделяемого прохождением тока нагрузки в самой пластине или в специальном нагревательном элементе. Из-за инерционности теплового процесса тепловые реле, имеющие биметаллический элемент, непригодны для защиты цепей от токов коротких замыканий (КЗ). Нагревательные элементы в данном случае могут перегореть до срабатывания реле. Поэтому защита с помощью тепловых реле должна быть дополнена плавкими предохранителями или автоматическими выключателями.

Выпускаются тепловые реле однополюсные серии ТРП, двухполюсные – ТРН и трехполюсные серии РТЛ. В схемах электротехнических устройств тепловые реле устанавливаются индивидуально или в комплекте с магнитными пускателями.

Электротепловые реле серии РТЛ (рис. 4.5) имеют трехполюсную конструкцию, т. е. тепловые биметаллические элементы установлены в трех фазах. Реле имеет следующие основные детали: термобиметаллические элементы *1*, установленные в каждой фазе, пружина-защелка *2* контактной системы *6* и *7*, устройство самовозврата контактов *3*, кнопка ручного возврата подвижных контактов *4*, регулятор уставок тока, неподвижные контакты *6* и подвижные контакты *7*. Включение реле в исходное положение осуществляется кнопкой ручного возврата контактов *4*.

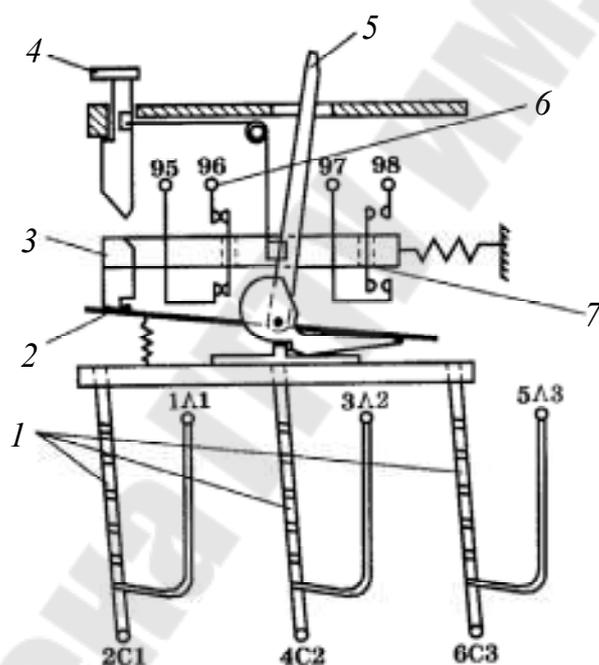


Рис. 4.5. Электротепловое реле серии РТЛ

При перегрузке, когда ток электродвигателя увеличивается в 1,2–1,3 раза тока номинального уставки реле $I_{\text{ном.уст}}$, термобиметаллические элементы *1* нагреваются и, изгибаясь, воздействуют на пружину – защелку *2*, которая освобождает устройство самовозврата контактов *3*. Происходит переключение контактов *6* и *7*.

Электротепловые реле серии РТЛ выпускаются на различные токи уставки срабатывания в диапазоне от 0,1 до 200 А.

Устанавливаются в комплекте с магнитными пускателями серии ПМЛ и имеют выводы для присоединения к пускателю, обозначенные – 1Л1, 3Л2, 5Л3 и клеммные зажимы – 2С1, 4С2, 6С3 для подключения асинхронных электродвигателей.

Схема установки аппаратов защиты от коротких замыканий в сети и перегрузки электродвигателя приведена на рис. 4.6.

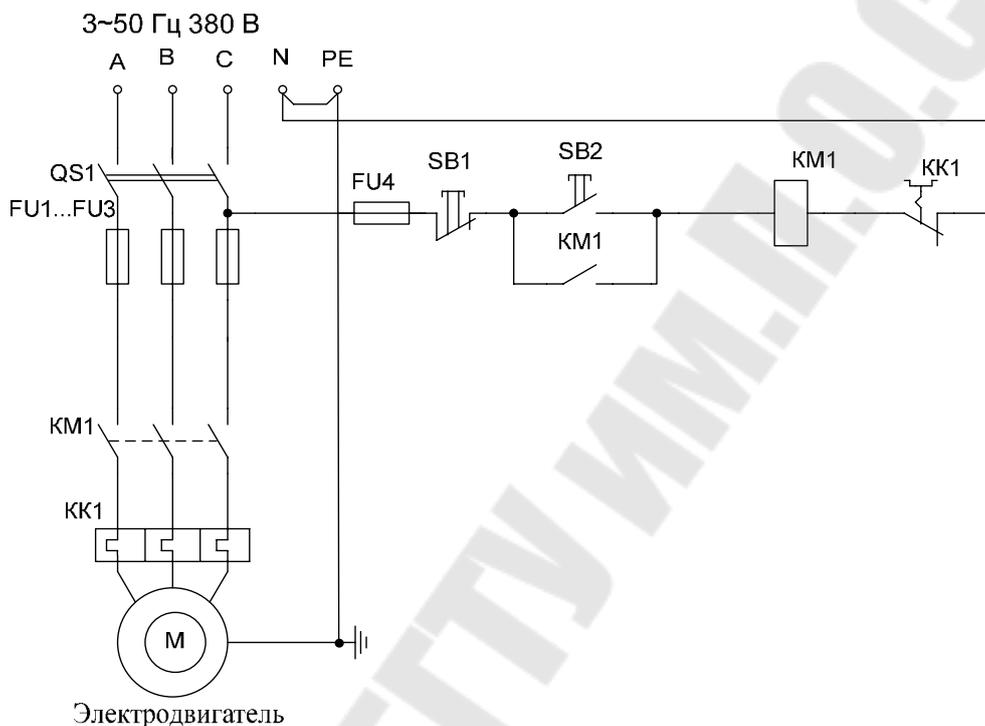


Рис. 4.6. Схема электрическая принципиальная

Тема 5. Автоматические выключатели

- Автоматические выключатели.
- Токовые реле.
- Дифференциальные выключатели (УЗО).

Автоматические выключатели

Автоматический выключатель предназначен для коммутации цепей при аварийных режимах, а также нечастых (от 6 до 30 в сутки) оперативных включений и отключений электрических цепей.

Автоматические выключатели, не обладая недостатками плавких предохранителей, обеспечивают быструю и надежную защиту электрической сети от токов перегрузки и короткого замыкания. Та-

ким образом, автоматические выключатели выполняют одновременно функции защиты и управления.

Автоматические выключатели имеют реле прямого действия, называемые расцепителями, которые обеспечивают отключение при перегрузках, КЗ. Отключение может происходить без выдержки времени или с выдержкой. Автоматические выключатели характеризуются собственным временем отключения $t_{с.откл}$ – это промежуток времени от момента, когда контролируемый параметр превзошел установленное для него значение, до момента начала расхождения контактов. Различают нормальные выключатели $t_{с.откл} = 0,2 - 0,7$ с, а некоторые серии и до 1 с, с выдержкой времени – (селективные) и быстродействующие выключатели $t_{с.откл} < 0,005$ с.

Нормальные и селективные выключатели не обладают токоограничивающим действием. Токоограничивающим действием обладают быстродействующие автоматические выключатели, так как отключают цепь до того, как ток в ней достигает максимального значения ударного тока i_y .

Селективные автоматические выключатели позволяют осуществить селективную защиту сетей путем установки автоматических выключателей с разными выдержками времени: наименьший у потребителя и ступенчато возрастающей к источнику питания.

Для выполнения защитных функций выключатели снабжаются тепловыми расцепителями или электромагнитными, либо комбинированными (тепловые и электромагнитные) расцепителями. Тепловые расцепители предназначены для защиты цепей от токов длительной перегрузки, а электромагнитные от токов короткого замыкания. В зависимости от характера изменения режима работы элемента сети от нормального режима срабатывают встроенные в аппарат тепловые или электромагнитные расцепители.

Действие тепловых расцепителей, встраиваемых в выключатель, основано на использовании нагрева биметаллической пластинки, изготовленной из спая двух металлов с различными коэффициентами теплового линейного расширения. В расцепителе при токе, превышающем ток, на который они рассчитаны, одна из пластин при нагреве удлиняется больше, в результате чего воздействует на отключающий пружинный механизм и коммутирующие контакты размыкаются.

Тепловой расцепитель автоматического выключателя не защищает электрическую сеть или электродвигатель от короткого замыкания. Это объясняется тем, что они, обладая большой тепловой инер-

цией, не успевают нагреться за столь малое время от тока короткого замыкания или пускового тока электродвигателя.

Электромагнитный расцепитель представляет собой электромагнит, воздействующий на отключающий пружинный механизм. Если ток в катушке электромагнита превышает определенное, заранее установленное значение, то электромагнитный расцепитель отключает коммутирующее устройство и в результате отключает линию мгновенно.

Схема автоматического выключателя с комбинированным расцепителем приведена на рис. 5.1. Для включения автоматического выключателя нажимают кнопку (выключатели серии АП50Б) или поворачивают рычаг (выключатели серии АЕ1000, АЕ2000, А3700, ВА), при этом замыкаются контакты 1 и защелка 3, 4 входит в зацепление.

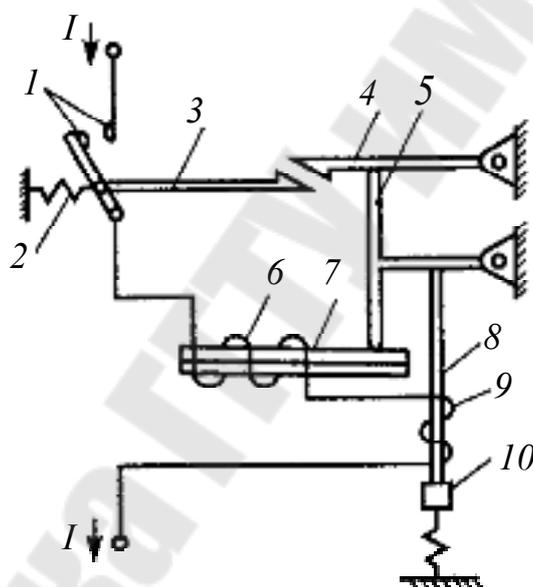


Рис. 5.1. Схема автоматического выключателя

При номинальном режиме ток нагрузки проходит по контактам 1, нагревательному элементу 6 теплового биметаллического расцепителя, катушке 9 электромагнитного расцепителя к электроприемнику.

При возникающей перегрузке ток, проходя по нагревателю теплового реле, нагревает биметаллическую пластинку 7, которая изгибается и действует на рычаг 5, рычаг приподнимает защелку 4, защелка освобождается и при этом под действием пружины 2 контакты 1 выключателя размыкаются.

При коротком замыкании электромагнит 9 электромагнитного расцепителя мгновенно втягивает сердечник 10 и толкателем 8 воз-

действует на рычаг 5 – происходит автоматическое отключение выключателя.

Автоматические выключатели характеризуются номинальным напряжением (максимальное напряжение сети, при котором еще допускается применять данный аппарат) и номинальным током (максимальный ток, указанный в паспорте, который выдерживает выключатель неограниченное время).

Расцепители, встроенные в выключатель, характеризуются номинальным током, который они выдерживают длительное время. Наименьший ток, вызывающий отключение выключателя, называют током трогания или срабатывания, а настройку расцепителя на заданный ток срабатывания – уставкой тока. Уставку тока электромагнитного расцепителя, настроенную на мгновенное срабатывание, называют отсечкой.

Автоматические выключатели характеризуются временем срабатывания. Времятоковая характеристика (защитная характеристика) автоматического выключателя приведена на рис. 5.2. Защитная характеристика имеет два участка AB и CD . Электромагнитные расцепители имеют обратную зависимость от тока выдержку времени при перегрузках (участок AB) и независимую выдержку времени при токах КЗ (участок CD).

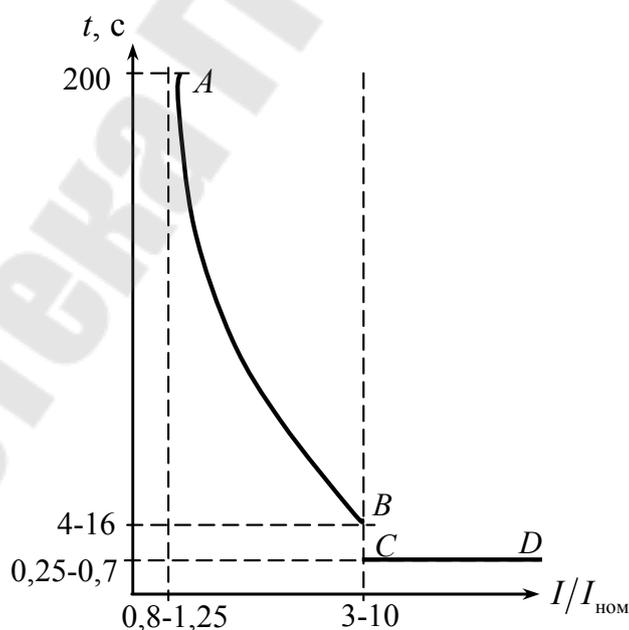


Рис. 5.2. Защитная характеристика автоматического выключателя

В системах электроснабжения промышленных предприятий, общественных и жилых зданий, в схемах управления станков, механизмов, машин широко применяются автоматические выключатели серий АП50Б, АЕ1000, АЕ2000, А3700 и полностью заменяющие их автоматические выключатели серии ВА51, ВА52, ВА53, ВА55, ВА75.

Защитная характеристика реального автоматического выключателя серии ВА 88-32 приведена на рис. 5.3.

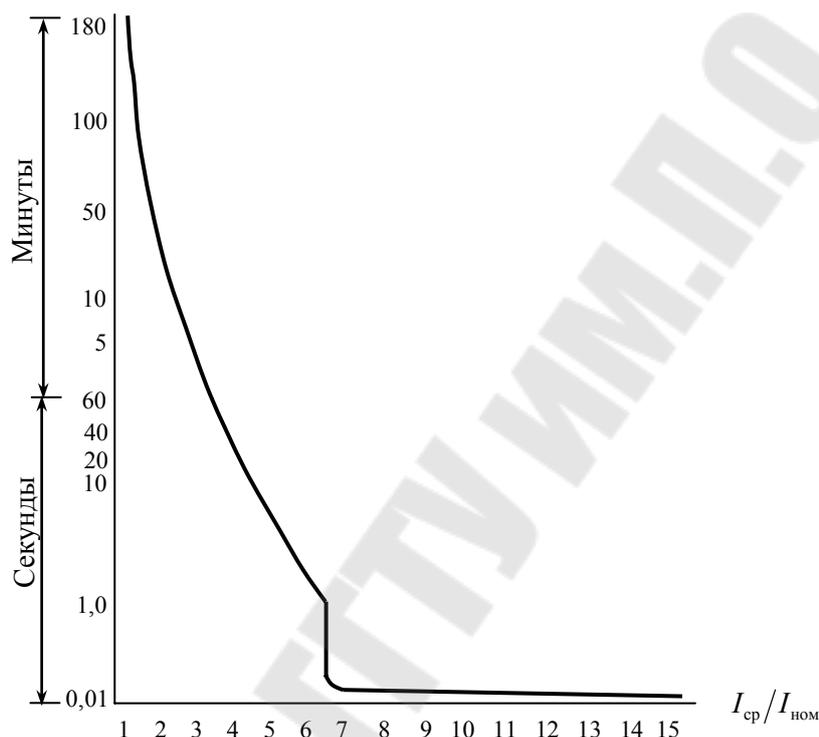


Рис. 5.3. Времятоковая (защитная) характеристика автоматического выключателя серии ВА88-32

Токовые реле

Электромагнитные реле мгновенного действия серии РТ-40

Эти реле применяются в схемах максимально-токовой защиты систем электроснабжения и другого электрооборудования. Конструкция реле приведена на рис. 5.4. Реле состоит из электромагнита 1, обмотки из двух катушек 2, якоря 5, укрепленного на оси с подвижным мостом 3, и спиральной противодействующей пружины 4.

Работает реле следующим образом, когда электромагнитная сила реле больше механической силы пружины, якорь притягивается к электромагниту, при этом подвижный контактный мост 3 замыкает одну пару контактов и размыкает вторую пару неподвижных контактов.

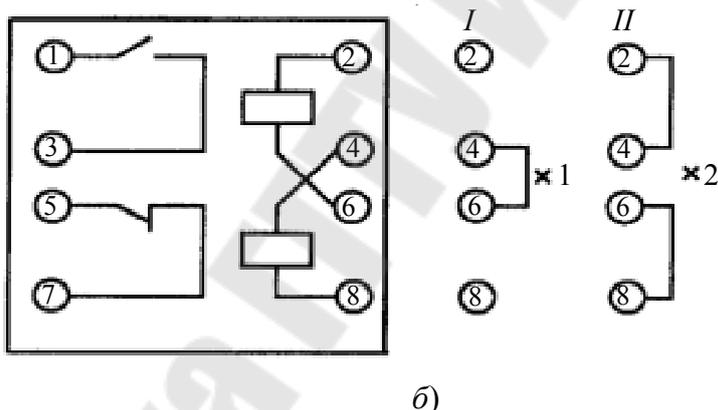
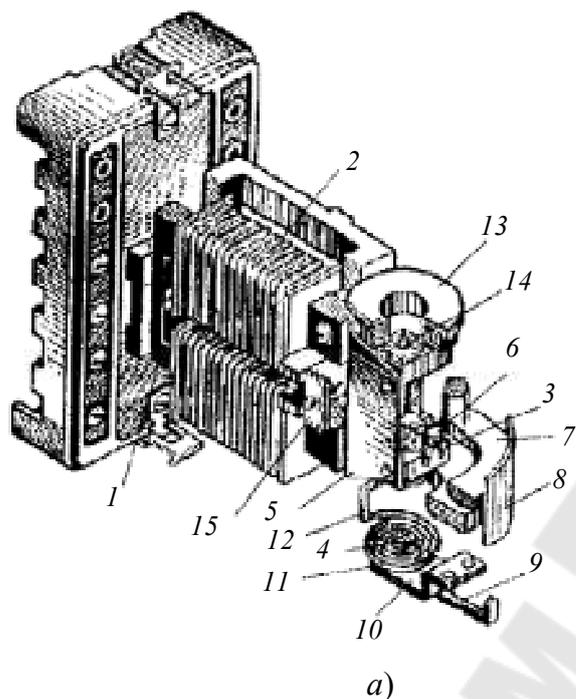


Рис. 5.4. Реле максимального тока серии РТ-40:
a – общий вид: 1 – магнитопровод; 2 – катушки; 3 – подвижный контактный мостик; 4 – пружина; 5 – якорь; 6 – неподвижные контакты; 7 – изолированная колодка; 8 – шкала; 9 – указатель; 10 – пружинодержатель; 11 – втулка; 12 – хвостовик; 13 – гаситель колебаний; 14 – ось; 15 – упоры; *б* – схемы соединения обмоток реле

Уставка срабатывания реле серии РТ-40 плавно регулируется натяжением пружины 4 и ступенчато переключением катушек обмотки с последовательной схемы на параллельную (рис. 5.4, б), при этом значение шкалы реле изменяется в два раза.

Пределы уставок тока срабатывания реле при последовательном соединении катушек составляют 0,5–25 А, при параллельном соединении – 1–50 А.

Реле тока серии РТ-80. Комбинированное реле тока имеет в своей конструкции индукционный воспринимающий элемент, действующий с выдержкой времени, зависимой от тока, и электромагнитный воспринимающий элемент мгновенного действия (отсечка), срабатывающий при больших значениях тока. Выпускаются следующие реле этой серии: РТ-81, ..., РТ-86, РТ-91 и РТ-95. Все они аналогичны по устройству и принципу действия, но отличаются характеристиками, числом или конструкцией контактов. Реле РТ-81 и РТ-82 имеют один замыкающий контакт, а реле РТ-85 и РТ-86 – усиленные переключающие контакты. Реле РТ-83 и РТ-84 имеют два замыкающих контакта (главный – срабатывающий от электромагнитного элемента и сигнальный – действующий от индукционного элемента). Реле РТ-91 имеет только один замыкающий контакт обычного исполнения, а реле РТ-95 – усиленный переключающий контакт.

Индукционное реле серии РТ-80 имеет два релейных элемента – индукционный и электромагнитный (рис. 5.5).

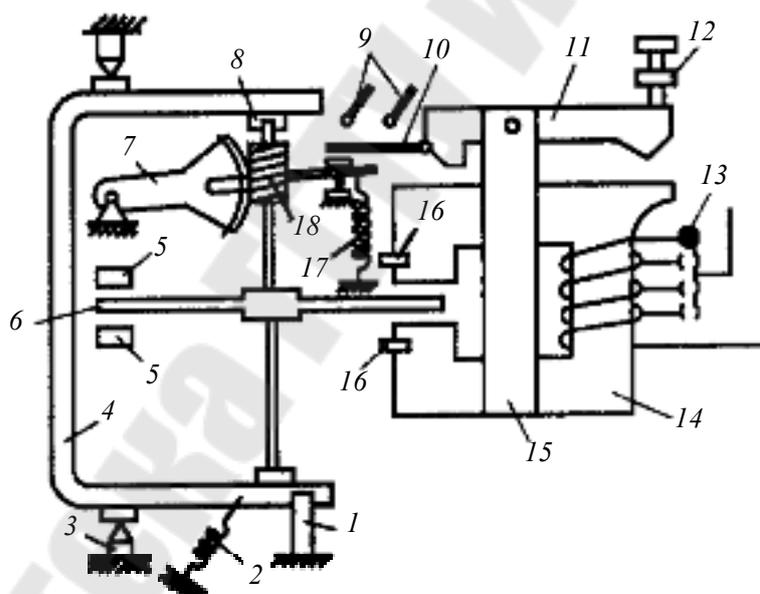


Рис. 5.5. Индукционное реле серии РТ-80

Индукционный элемент состоит из электромагнита 14 с короткозамкнутыми витками 16 и диска 6, ось которого находится в подшипниках 8, установленных на рамке 4. Рамка поворачивается на осях 3 и пружиной 2 удерживается в крайнем положении, т. е. пружиной к упору 1. На ось диска насажен червяк 18. В исходном положении рамки сегмент 7, имеющий червячные зубья, не находится в зацеплении с червяком, и контакты 9 реле разомкнуты.

При протекании по обмотке реле тока $I_p \geq I_{ср.р}$ диск медленно начинает вращаться под действием электромагнитного момента, создаваемого током реле. Рамка поворачивается, червяк входит в зацепление с зубьями сегмента и начинает постепенно подниматься, преодолевая усилие пружины 17, и специальной планкой 10 замыкает контакты реле. Время срабатывания реле регулируется начальным положением зубчатого сегмента при помощи винта, укрепленного на шкале времени. Чем больше сила тока I_p в обмотке электромагнита, тем быстрее будет вращаться диск, и тем меньше будет выдержка времени срабатывания контактов. Токи срабатывания индукционного элемента $I_{ср.р}$ регулируются изменением числа витков обмотки (перестановкой контактного витка 13 на контактной колодке); $I_{ср.р} \geq (2-10) A$; время срабатывания – 0,5–16 с.

Электромагнитный элемент реле РТ-80 состоит из ярма, электромагнита 15 и якоря 11. При протекании по обмотке реле тока $I_p \geq 2I_{ср.р}$ якорь втягивается и без выдержки времени (отсечкой) замыкает контакты реле. Таким образом, электромагнитный элемент может действовать совместно с индукционным элементом или самостоятельно.

Электромагнитный элемент действует при больших токах, как бы отсекая часть характеристики реле, поэтому действует с отсечкой. Ток отсечки $I_{отс} = (2-8)I_{ср.р}$. Токи срабатывания электромагнитного элемента регулируются изменением количества витков обмотки и положения регулировочного винта 12 тока серии РТ-80.

Дифференциальные выключатели (УЗО)

Дифференциальный выключатель предназначен для повышения безопасности эксплуатации человеком электрооборудования (бытового и промышленного) в электрической сети переменного тока частотой 50 Гц в системе электроснабжения с заземленной нейтралью. Дифференциальный выключатель или устройство защитного отключения (УЗО) используют в качестве «аварийной» защиты от поражения электрическим током, в случае прямого прикосновения человека к токоведущим частям или оказавшимся под напряжением в результате повреждения изоляции. При токе, равном или превышающем уставку, время срабатывания выключателя не превышает 0,1 с.

При использовании дифференциального выключателя (УЗО) необходимо последовательно с ним включать автоматический выключатель аналогичного или большего номинала или плавкие предохранители.

тели, так как конструкция выключателя (УЗО) не предусматривает защиты от короткого замыкания (сверхтоков).

Производятся выключатели двух- и четырехполюсного исполнения и имеют варианты исполнения на восемь номинальных токов — 16, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 А.

Устройства защитного отключения работают на основе функции дифференциального тока (разницы между прямым и обратным током, возникающим при утечке на землю). Дифференциальный трансформатор тока 3 (рис. 5.6) служит сигнализатором (датчиком) наличия тока утечки. Геометрическая сумма токов, протекающих по первичной обмотке трансформатора в нормальном режиме работы, равна нулю: $I_1 + I_2 + I_3 + I_N = 0$. При утечке тока равновесие их в первичной обмотке нарушается: $I_1 + I_2 + I_3 + I_N = I_{\Delta n}$ (отключающий дифференциальный ток). Тогда в магнитопроводе трансформатора создается магнитный поток, индуцирующий ток во вторичной обмотке, который приводит в действие механизм отключения УЗО.

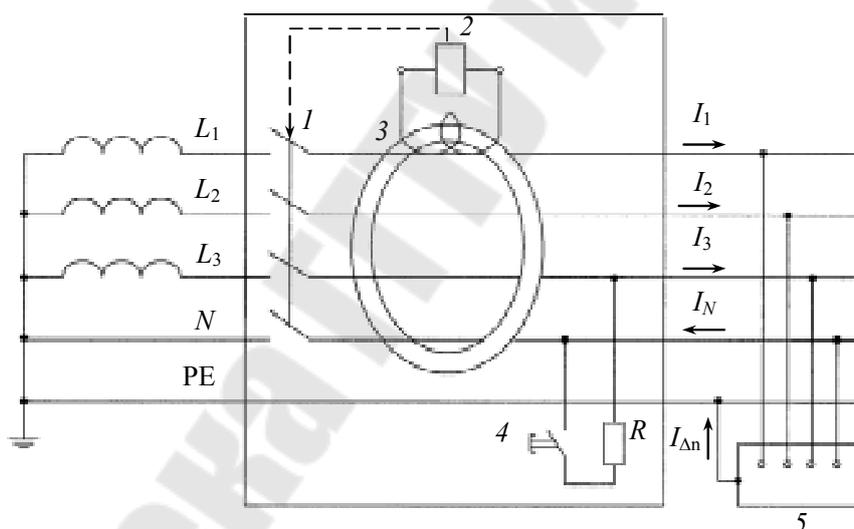


Рис. 5.6. Схема включения УЗО в сеть:

- I – исполнительный механизм; 2 – блок управления (усилитель);
- 3 – датчик дифференциального тока (дифференциальный трансформатор); 4 – кнопка тест-контроль;
- 5 – трехфазный электроприемник

Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования 4. При нажатии кнопки «ТЕСТ» искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно в целом исправно.

Тема 6. Условия выбора электрических аппаратов

- Условия выбора аппаратов защиты.
 - Выбор плавких вставок предохранителей.
 - Выбор электротепловых реле.
 - Выбор автоматических выключателей.
-

Условия выбора аппаратов защиты

Согласно [1], для защиты электродвигателей от коротких замыканий (КЗ) должны применяться предохранители или автоматические выключатели. Номинальные токи плавких вставок предохранителей или автоматических выключателей должны выбираться таким образом, чтобы обеспечивалось надежное отключение КЗ на зажимах электродвигателя и вместе с тем, чтобы электродвигатели при номинальных для данной установки толчках тока (пиках технологических нагрузок, пусковых токах, токах самозапуска и т. п.) не отключались этой защитой. С этой целью для электродвигателей механизмов с легкими условиями пуска отношение пускового тока электродвигателя к номинальному току плавкой вставки должна быть не более 2,5, а для электродвигателей механизмов с тяжелыми условиями пуска (большая длительность разгона, частые пуски и т. п.) это отношение должно быть равным 1,6–20.

Электродвигатели должны иметь аппараты, защищающие их при междуфазном коротком замыкании, однофазном замыкании на корпус, перегрузке, понижении или исчезновении напряжения.

При защите электроприемников необходимо учитывать защиту и электрической сети. Согласно [1], электрические сети распределяются на две группы: 1) защищаемые от токов перегрузки и токов короткого замыкания; 2) защищаемые только от токов короткого замыкания.

Защита от коротких замыканий выполняется обязательно для всех электродвигателей (электроприемников) и электрических сетей.

Защита от перегрузки выполняется для электродвигателей продолжительного режима работы, за исключением случаев, когда такая перегрузка маловероятна (электродвигатели вентиляторов, насосов и т. п.).

Для электродвигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, например, грузоподъемные механизмы, защита от перегрузки не выполняется.

Защите от перегрузки подлежат сети:

- внутри помещений, проложенные открыто незащищенными изолированными проводниками и с горючей оболочкой;
- внутри помещений, проложенные защищенными проводниками в трубах, в несгораемых строительных конструкциях и т. п.;
- осветительные в жилых, общественных и торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети бытовых и переносных электроприемников, а также в пожароопасных производственных помещениях;
- в промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, когда по условиям технологического процесса или режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводов и кабелей;
- всех видов во взрывоопасных наружных установках независимо от условий технологического процесса или режима работы сети.

Все остальные сети не требуют защиты от перегрузки и защищаются только от токов короткого замыкания.

Аппараты, установленные для защиты от коротких замыканий и перегрузки, должны быть выбраны так, чтобы номинальный ток каждого из них $I_{\text{ном.з.а}}$ был не менее номинального тока электродвигателя (электроприемника) $I_{\text{ном}}$ или расчетного тока $I_{\text{расч}}$, рассматриваемого участка сети:

$$I_{\text{з.а}} \geq I_{\text{ном}} (I_{\text{расч}}), \quad (6.1)$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток электродвигателя, определяемый по паспортным данным электродвигателя (электроприемника), А;

$I_{\text{расч}}$ – расчетный ток электроприемника, определяемый по формулам:

– для трехфазной сети с нулем – $I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}} \cos \varphi}$;

– для однофазной сети – $I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} \cos \varphi}$;

– для сети постоянного тока – $I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}}$.

При выборе плавких вставок предохранителей для защиты электродвигателей и электрооборудования, во время включения которого возникает пусковой ток, необходимо учитывать, что по номинальному току плавкие вставки выбирать недостаточно, так как они могут сработать (перегореть) при пуске агрегата.

Выбор плавких вставок предохранителей

Для электродвигателей, работающих в продолжительном режиме, величина тока плавкой вставки $I_{\text{НОМ.ПЛ.ВСТ}}$ предохранителя должна удовлетворять условию:

$$I_{\text{НОМ.ПЛ.ВСТ}} \geq \frac{I_{\text{кр}}}{\alpha}, \quad (6.2)$$

где $I_{\text{кр}}$ – кратковременный ток группы электродвигателей (для одиночного электродвигателя $I_{\text{кр}}$ равен $I_{\text{пуск}}$), А; α – коэффициент, учитывающий условия пуска и длительность пускового периода; $\alpha = 2,5$ – условия пуска нормальные, время разгона более 2–2,5 до 5 с; $\alpha = 1,6 – 2,0$ – условия пуска тяжелые, время разгона до 40 с (мощные вентиляторы, компрессоры, насосные установки, прессы, дробилки и другие технологические установки).

Максимальный кратковременный ток $I_{\text{кр}}$ для группы электродвигателей можно определить по выражению:

$$I_{\text{кр}} = I_{\text{пуск max}} + \sum I_{\text{НОМ}}, \quad (6.3)$$

где $I_{\text{пуск max}}$ – пусковой ток максимального по мощности электродвигателя в группе, А; $\sum I_{\text{НОМ}}$ – сумма номинальных токов группы электродвигателей, кроме тока номинального пускаемого электродвигателя в группе, А.

Пусковой ток асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором можно определить по формуле:

$$I_{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{НОМ}}}, \quad (6.4)$$

где $\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{НОМ}}}$ – кратность пускового тока, определяется по паспортным техническим данным электродвигателей.

Выбор плавких вставок предохранителей для защиты асинхронных электродвигателей с фазным ротором рекомендуется производить по формуле:

$$I_{\text{НОМ.ПЛ.ВСТ}} \geq (1,15 \dots 1,25) I_{\text{НОМ}} . \quad (6.5)$$

Номинальный ток плавких вставок предохранителей для защиты линии к сварочному трансформатору определяется по формуле:

$$I_{\text{НОМ.ПЛ.ВСТ}} \geq I_{\text{НОМ}} \sqrt{\text{ПВ}} . \quad (6.6)$$

Одним из условий выбора предохранителей является обеспечение избирательности их действия (селективности защиты). Это обеспечивается тем, что время срабатывания плавких вставок, вышестоящих в цепи, предохранителей увеличивается на одну – две ступени по отношению к предохранителям, установленным ниже по схеме от пункта питания.

Запись выбранных предохранителей производится следующим образом: записывается тип предохранителя, ток номинальный основания (патрона), номинальный ток плавкой вставки, например, ПН2-100/80 А.

Выбор электротепловых реле

Тепловые реле для защиты электродвигателей от длительной перегрузки выбираются по номинальному току электродвигателя по условию:

$$I_{\text{НОМ.Т.Р}} \geq I_{\text{НОМ.ЭЛ.ДВ}} . \quad (6.7)$$

Выбор автоматических выключателей

Автоматические выключатели выбираются по двум условиям:

$$1. I_{\text{НОМ.Т.Р}} = (1,15 \dots 1,25) I_{\text{НОМ}} . \quad (6.8)$$

$$2. I_{\text{СР.ЭМР(ОТСЕЧКА)}} \geq 1,25 I_{\text{ПУСК}} , \quad (6.9)$$

где $I_{\text{НОМ.Т.Р}}$ – номинальный ток уставки теплового расцепителя, А;
 $I_{\text{СР.ЭМР(ОТСЕЧКА)}}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя или (отсечка), А.

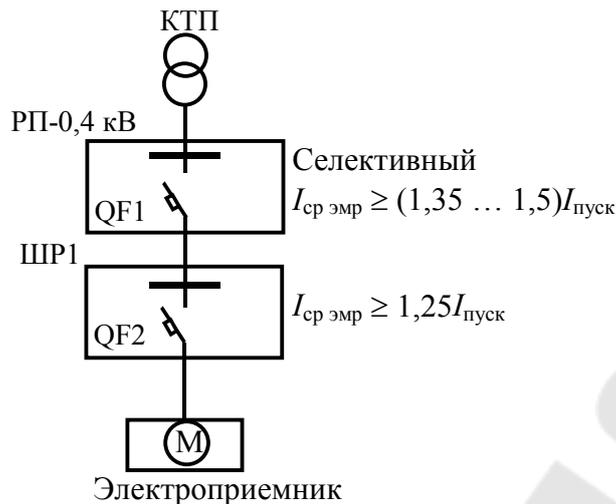


Рис. 6.1. Пример установки аппаратов защиты в схему электрической сети

Для селективных автоматических выключателей, защищающих электрическую сеть, коэффициент принимается равный $(1,35 - 1,50)I_{\text{пуск}}$ (рис. 6.1).

Тема 7. Бесконтактные электрические аппараты

- Бесконтактные тиристорные контакторы.
- Бесконтактные тиристорные пускатели.
- Бесконтактные логические элементы.

Бесконтактные тиристорные контакторы

Существенным недостатком элементов электромагнитной аппаратуры, коммутирующих электрические цепи, является низкая надежность контактов. Коммутация больших значений тока связана с возникновением электрической дуги между контактами в момент размыкания, которая вызывает их нагрев, оплавление и, как следствие, выход аппарата из строя.

В установках с частым включением и отключением силовых цепей ненадежная работа контактов коммутирующих аппаратов отрицательно сказывается на работоспособности и производительности всей установки. Бесконтактные электрические коммутирующие аппараты лишены указанных недостатков.

Бесконтактными электрическими аппаратами называют устройства, предназначенные для включения и отключения (коммутации) электрических цепей без физического разрыва самой цепи. Основой для построения бесконтактных аппаратов служат различные нелинейные элементы: ферромагнитные сердечники с обмотками, полупроводниковые приборы (транзисторы, тиристоры) интегральные микросхемы, оптоэлектронные приборы.

Тиристорный однополюсный контактор. На рис. 7.1 приведена схема тиристорного однополюсного контактора.

Для включения контактора и подачи напряжения на нагрузку должны замкнуться контакты K в цепи управления тиристоров $VS1$ и $VS2$. Если в этот момент на зажиме 1 положительный потенциал (положительная полуволна синусоиды переменного тока), то на управляющий электрод тиристора $VS1$ будет подано через резистор $R1$ и диод $VD1$ положительное напряжение. Тиристор $VS1$ откроется, и через нагрузку R_n пойдет ток. При смене полярности напряжения сети откроется тиристор $VS2$, таким образом, нагрузка будет подключена к сети переменного тока. При отключении контактами K размыкаются цепи управляющих электродов, тиристоры закрываются и нагрузка отключается от сети.

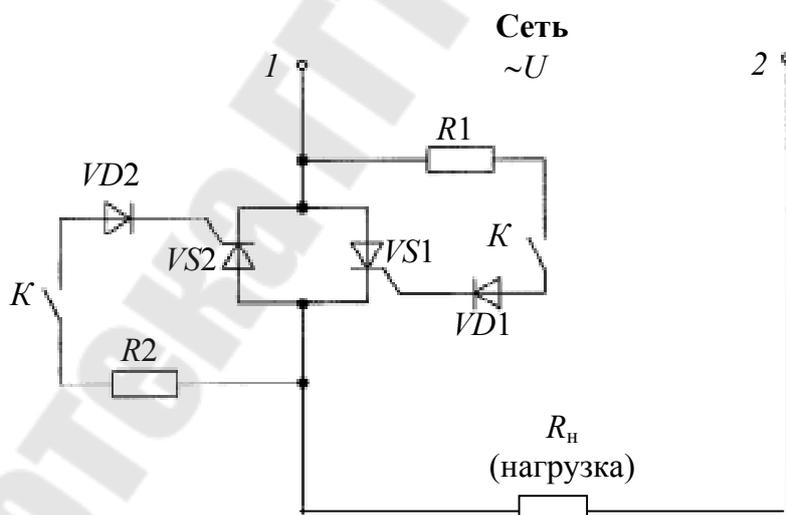


Рис. 7.1. Схема электрическая однополюсного контактора

Бесконтактные тиристорные пускатели

Для включения, отключения, реверсирования в схемах управления асинхронными электродвигателями разработаны тиристорные трехполюсные пускатели серии ПТ (рис. 7.2). Пускатель трехполюс-

ного исполнения в схеме имеет шесть тиристоров $VS1, \dots, VS6$, включенных по два тиристора на каждый полюс. Включение пускателя осуществляется посредством кнопок управления $SB1$ «Пуск» и $SB2$ «Стоп».

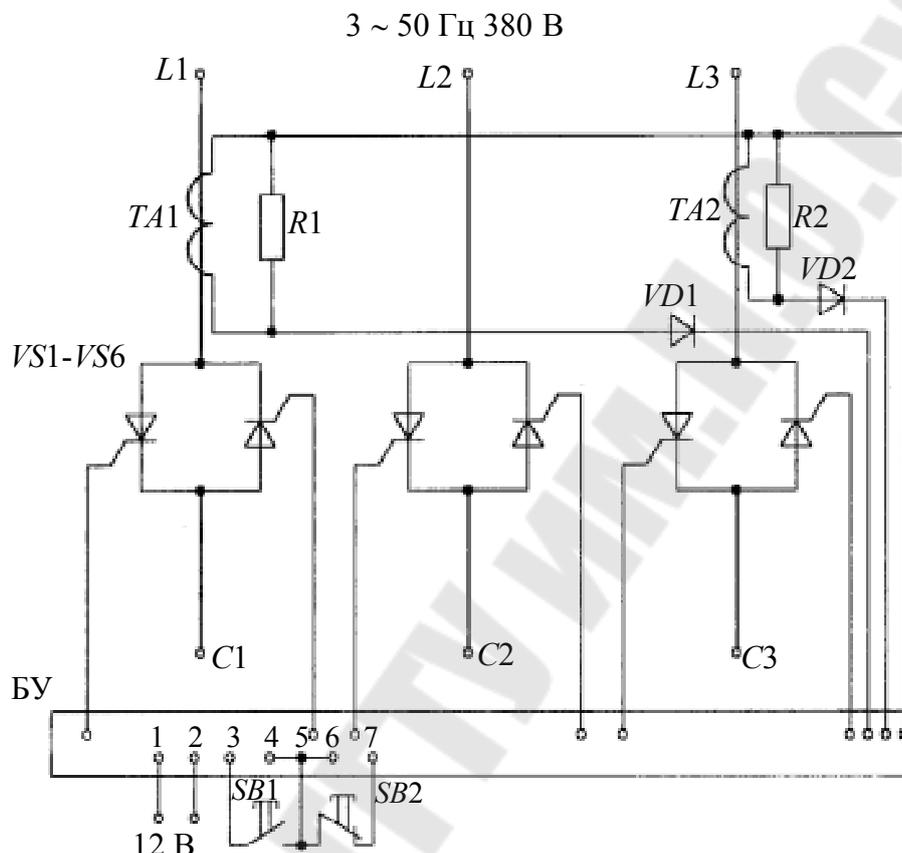


Рис. 7.2. Бесконтактный трехполюсный пускатель на тиристорах серии ПТ

Схема тиристорного пускателя предусматривает защиту электродвигателя от перегрузки, для этого в силовую часть схемы установлены трансформаторы тока $TA1$ и $TA2$, вторичные обмотки которых включены в блок управления тиристорами.

Бесконтактные логические элементы

В любой электрической схеме управления можно рассмотреть логическую взаимосвязь между ее элементами. Например, если проанализировать схему реверсивного управления с помощью магнитных пускателей, можно обнаружить, что необходимым условием одного из пускателей является отключенное состояние другого. Эта логическая связь осуществляется размыкающими контактами магнитных пускателей.

В некоторых схемах логическая связь объединяет несколько элементов. На рис. 7.3 приведены схемы включения реле. Необходимым условием включения реле K является одновременное замкнутое состояние контактов $K1$ и $K2$ (рис. 7.3, *а*), а для включения реле K в схеме (рис. 7.3, *б*) достаточно замыкания $K1$ или $K2$. В первом случае выполняется логическая связь «И», а во втором случае логическая связь «ИЛИ».

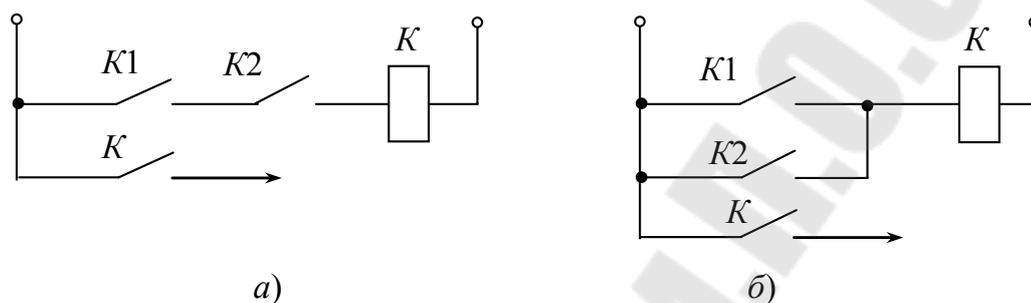


Рис. 7.3. Схемы включения реле:
а – при замыкании контактов $K1$ и $K2$;
б – при замыкании контактов $K1$ или $K2$

В основу логических элементов заложены наиболее часто встречающиеся в электрических схемах логические связи. Логические элементы получили свои названия по осуществляемым ими логическим связям. Различают основные и дополнительные логические элементы.

К основным относятся элементы, выполняющие логические связи И, ИЛИ, НЕ и их комбинации ИЛИ – НЕ, И – НЕ.

Логические элементы имеют один или несколько входов и один выход. Логический элемент И характеризуется тем, что сигнал на его выходе появляется только при одновременной подаче сигналов на все входы. В логическом элементе ИЛИ сигнал на выходе появляется при подаче сигнала хотя бы на один из его входов. Элементы И и ИЛИ имеют не менее двух входов. Элемент НЕ имеет один вход.

Логические элементы применяются в схемах управления в качестве промежуточных элементов. Они выполняют различные элементарные операции, позволяющие получить нужную последовательность включения исполнительных элементов схемы.

Логические элементы выполняют те же функциональные операции, что и электромагнитные контактные реле. Они имеют два устойчивых состояния – «включено» и «выключено», которые обозначаются соответственно цифрами 1 и 0. Для электромагнитного реле

цифра 1 обозначает замкнутое состояние контакта, а цифра 0 – разомкнутое. Для бесконтактного логического элемента цифра 1 указывает на наличие напряжения на его выходе, а цифра 0 – на отсутствие напряжения. Аналогично обозначаются и входные сигналы логических элементов буквой X , а выходные – Y .

Логический элемент ИЛИ. Выполняет функциональную операцию логическое сложение. Сигнал на выходе элемента появляется при наличии хотя бы одного входного сигнала – $X1$ или $X2$. Операция ИЛИ может выполняться для любого количества входных сигналов. Эту функцию можно реализовать в виде логического сложения $Y = X1 + X2$. Тогда для различных сочетаний входных контактов – замкнутого (логическая 1) или разомкнутого (логический 0) – имеем: $0 + 0 = 0$, $0 + 1 = 1$, $1 + 0 = 1$, $1 + 1 = 1$ (чисто логическое сложение).

Логический элемент И. Выполняет функциональную операцию логическое умножение. Сигнал на выходе элемента $Y = 1$ появляется только в том случае, когда оба входных сигнала равны 1. В остальных случаях $Y = 0$.

Логический элемент НЕ. Выполняет функциональную операцию отрицания или инвертирования. При наличии входного сигнала $X1 = 1$ выходной сигнал отсутствует ($Y = 0$), а при отсутствии входного сигнала ($X = 0$) выходной сигнал $Y = 1$.

Логический элемент ИЛИ – НЕ. В этом комбинированном элементе при наличии хотя бы одного сигнала на входе ($X1, X2 = 1$ сигнал на выходе $Y = 0$, а при отсутствии входных сигналов ($X1, X2$) $Y = 1$. Кроме рассмотренных примеров логические элементы могут выполнять запоминание определенного уровня входного сигнала (операция «ПАМЯТЬ»), блокировку (операция «ЗАПРЕТ»), выдержку времени на включение и отключение, и другие функции.

Наиболее простым способом проектирования схем управления на логических элементах является перевод предварительно составленной релейно-контакторной схемы в бесконтактный аналог заменой сочетаний контакторов и реле эквивалентными бесконтактными логическими элементами. Логические функции можно реализовать на полупроводниковых элементах диодных, транзисторных или диодно-транзисторных в обычном или интегральном исполнении.

На рис. 7.4 показан узел схемы управления нереверсивным электроприводом с использованием бесконтактных логических элементов.

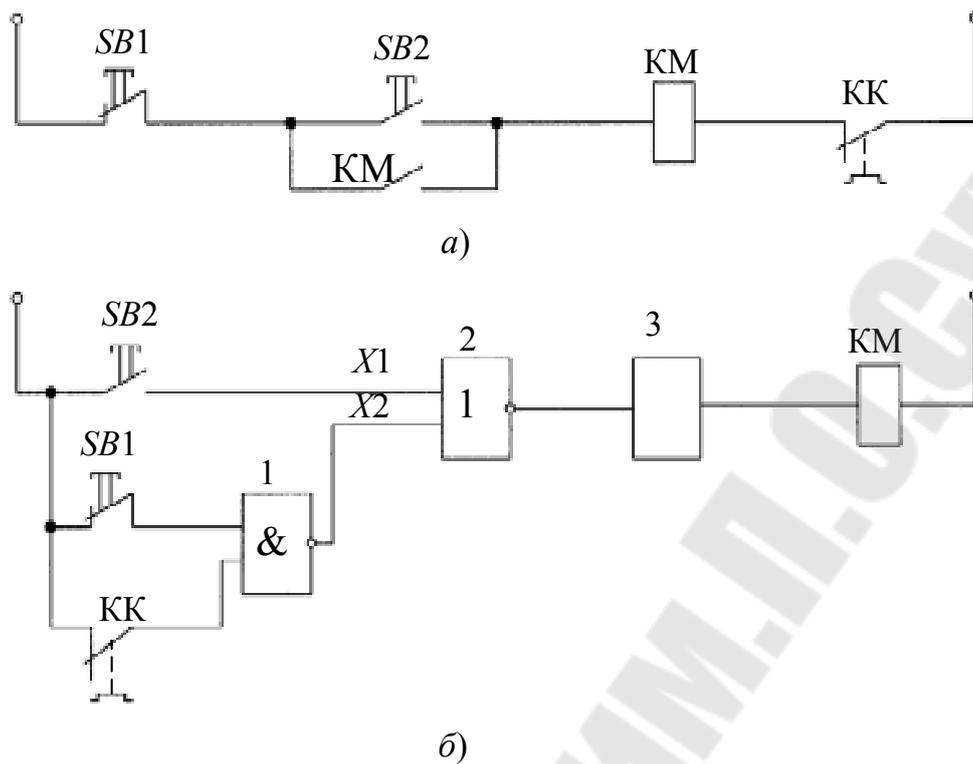


Рис. 7.4. Узел схемы управления нереверсивным электроприводом:
a – релейно-контакторный эквивалент; *б* – на бесконтактных логических элементах

В исходном состоянии сигналы:

$X1$ – на входе элемента 2 (триггер),

$X2$ – на выходе элемента 1 (И – НЕ);

Y – на выходе элемента 3 (усилителя) – равны нулю. Следовательно, контактор KM отключен.

При нажатии на кнопку $SB2$ появляется сигнал $X1$ на входе элемента 2, триггер открывается и пропускает этот сигнал через усилитель на катушку контактора. Контактор срабатывает и подключает электродвигатель к сети.

Отключение электродвигателя от сети осуществляется нажатием на кнопку $SB1$ или при размыкании контакта KK электротеплового реле. При этом триггер переключается, и на его выходе устанавливается нулевой сигнал. В результате размыкается цепь питания катушки контактора.

Тема 8. Датчики

- Датчики температуры, давления, уровня, пути.
 - Фотодатчики.
 - Оптоэлектрические датчики.
 - Герконы.
 - Датчики скорости.
 - Датчики Холла.
 - Реле, реализующие функции датчиков (реле времени, напряжения, тока).
-

Датчики температуры, давления, уровня, пути

В процессе работы электротехнического и технологического оборудования возникает необходимость контролировать происходящие при этом процессы, для этого надо иметь информацию о состоянии и текущих значениях скорости, тока, момента, ЭДС, температуры, давления, уровня, положения, освещенности и т. д. Устройства, которые выдают подобную информацию в виде электрических сигналов, получили название измерительных преобразователей или датчиков.

Сигнал от датчика подается на устройство сравнения вместе с заданным сигналом, сигнал разности подается на усилитель, и этот усилительный сигнал действует на исполнительный орган, изменяющий состояние регулируемого (контролируемого) объекта.

Классифицируются датчики по следующим признакам:

- по принципу преобразования электрических и неэлектрических величин в электрические величины датчики подразделяются на пьезоэлектрические, тепловые, давления, уровня, пути, электромагнитные датчики, фотодатчики, оптроны, герконы, датчики Холла;
- по конструкции – контактные и бесконтактные;
- по роду тока и величине напряжения;
- по току выходного исполнительного органа;
- по конструктивным особенностям и степени защиты.

Тепловые датчики. Принцип действия тепловых датчиков основан на использовании тепловых процессов (нагрева, охлаждения, теплообмена). Для измерения температуры преобразование происходит в промежуточную величину, например в ЭДС, электрическое сопротивление и другие величины.

Из всех существующих методов измерения температуры наиболее широко применяются термоэлектрические.

Термоэлектрическое явление заключается в том, что при соединении двух проводов A и B (рис. 8.1) из разных материалов (термопара) и создании разности температур между точкой соединения T_1 и точками свободных концов T_0 возникает ЭДС, пропорциональная разности функций температур:

$$E(T_1, T_0) = f(T_1) - f(T_0).$$

Значение термо ЭДС зависит от материалов термопары и колеблется в пределах от долей до сотен милливольт на $100\text{ }^\circ\text{C}$.

Наряду с термоэлектрическими датчиками температуры применяются терморезистивные датчики, называемые термометрами сопротивления.

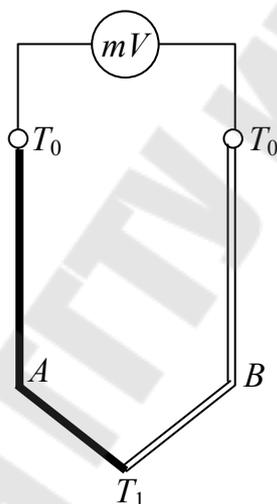


Рис. 8.1. Схема термоэлектрического преобразователя

Датчики уровня. Служат для контроля уровня жидкостей в резервуарах и для подачи сигналов о регулировании этого уровня. Датчики уровня бывают: электродные, поплавковые, мембранные.

Электродный датчик применяется для контроля уровня электропроводных жидкостей. Датчик имеет короткий 1 и два длинных электрода $2, 3$, закрепленные в коробке зажимов (рис. 8.2). Короткий электрод является контактом верхнего уровня, а длинный – нижнего уровня жидкости. Датчик соединяется проводами со станцией управления двигателем насоса. Касание воды короткого электрода приводит к отключению пускателя насоса, понижение уровня воды ниже длинного электрода дает команду на включение насоса.

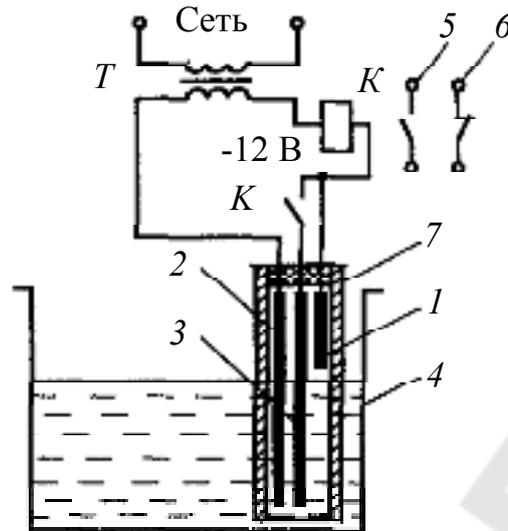


Рис. 8.2. Электродный датчик

Электроды датчика включены в цепь катушки промежуточного реле K , которое включается во вторичную обмотку понижающего трансформатора напряжением 12 В. При подъеме уровня жидкости в резервуаре до уровня короткого электрода 1 образуется электрическая цепь: вторичная обмотка трансформатора – катушка реле K – электрод 1 – жидкость – электрод 2 . Реле сработает и становится на самопитание через свой контакт K и электрод 3 , при этом контакты 6 реле дают команду на отключение электродвигателя насоса. При понижении уровня жидкости ниже уровня электрода 3 реле отключается и включает электродвигатель насоса.

Поплавковый датчик (реле) применяется в отапливаемых помещениях для контроля уровня неагрессивных жидкостей. На рис. 8.3 показано схематическое устройство реле. В резервуар 10 , погружается поплавок 1 , подвешенный на гибком канате через блок 3 и уравновешенный грузом 6 . На канате закреплены два упора 2 и 5 , которые при предельных уровнях жидкости в резервуаре поворачивают коромысло 4 контактного устройства 8 . При поворотах коромысло замыкает соответственно контакты 7 или 9 , включающие или отключающие электродвигатель насоса.

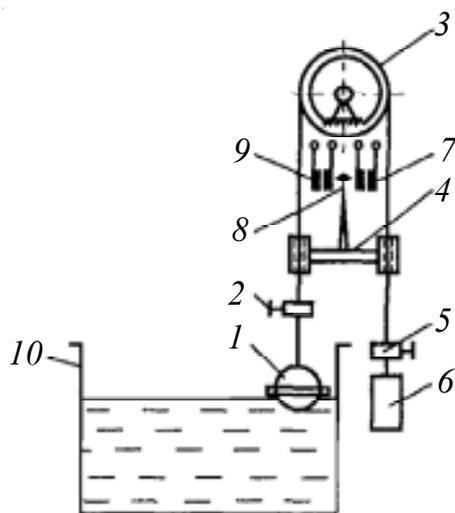


Рис. 8.3. Поплачковый датчик (реле)

Датчики пути. *Электроконтактные датчики* представляют собой конечные и путевые выключатели, микропереключатели. Они кинематически связаны с рабочими механизмами и управляют приводом в зависимости от пути, пройденного рабочим механизмом. Выключатель, ограничивающий ход рабочего механизма, называется конечным выключателем. Путевые выключатели могут координировать работу нескольких приводов, производя их пуск, останов, изменение скорости в зависимости от положения, занимаемого механизмом рабочей машины.

Принцип действия датчиков основан на том, что их устанавливают на неподвижных частях рабочих органов в определенном положении, а движущиеся рабочие органы, на которых укреплены кулачки, достигнув заданного положения, воздействуют на датчики, вызывая их срабатывание.

По характеру перемещения измерительного (подвижного) органа выключатели подразделяются на нажимные, когда шток совершает прямолинейное движение и рычажные, когда движение передается через устройство в виде рычага, поворачивающегося на некоторый угол.

Выключатели, у которых срабатывание контактов зависит от скорости движения упора, называют выключателями простого действия, а выключатели, у которых переключение не зависит от скорости движения упора, называют моментными.

Нажимные выключатели выпускают в основном простого действия (рис. 8.4).

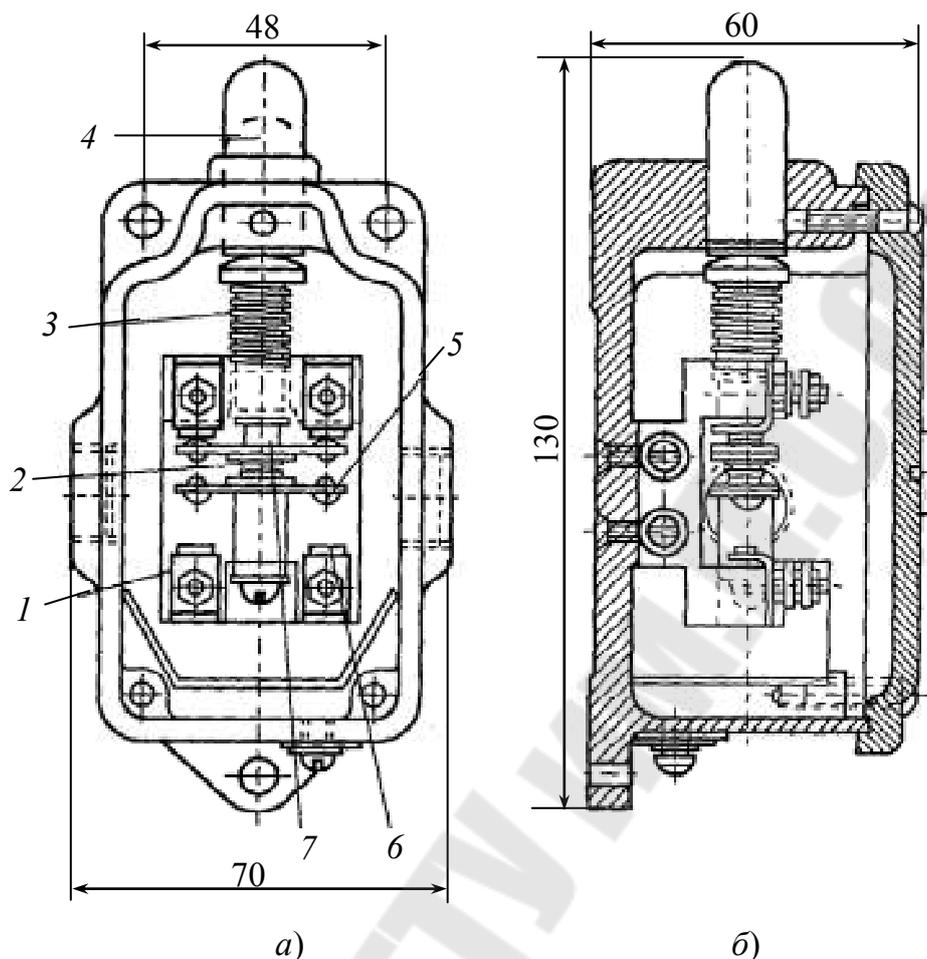


Рис. 8.4. Датчик пути нажимной

Выключатель состоит из основания *1*, неподвижных контактов *6*, штока *4*, опирающегося на сферическую поверхность втулки *7*, несущей мостики подвижных контактов *5*.

Для более надежного включения подвижные контакты *5* и неподвижные *6* поджимаются пружиной *2*. При воздействии усилия шток *4* перемещается и контактные мостики переключают, т. е. отключают размыкающие и включают замыкающие контакты.

Бесконтактные путевые выключатели. В схемах управления электроприводами станков, механизмов и машин применяются преобразователи пути, работающие без механического воздействия со стороны движущегося упора. Широкое распространение получили бесконтактные переключатели щелевого типа с транзисторными усилителями, работающими в генераторном режиме. На рис. 8.5, *a* показан общий вид переключателя типа БВК-24. Его магнитопровод, размещенный в корпусе *4*, состоит из двух ферритовых сердечников *1* и *2* с воздушным зазором шириной 5–6 мм между ними. В сердечни-

ке 1 размещается первичная обмотка w_k и обмотка положительной обратной связи $w_{п.с.}$, в сердечнике 2 – обмотка отрицательной обратной связи $w_{о.с.}$. Такой магнитопровод исключает влияние внешних магнитных полей. Катушки обратной связи включены последовательно – встречно. В качестве переключающего элемента используется алюминиевый лепесток (пластинка) 3 толщиной до 3 мм, который может перемещаться в щели (в воздушном зазоре) магнитной системы датчика.

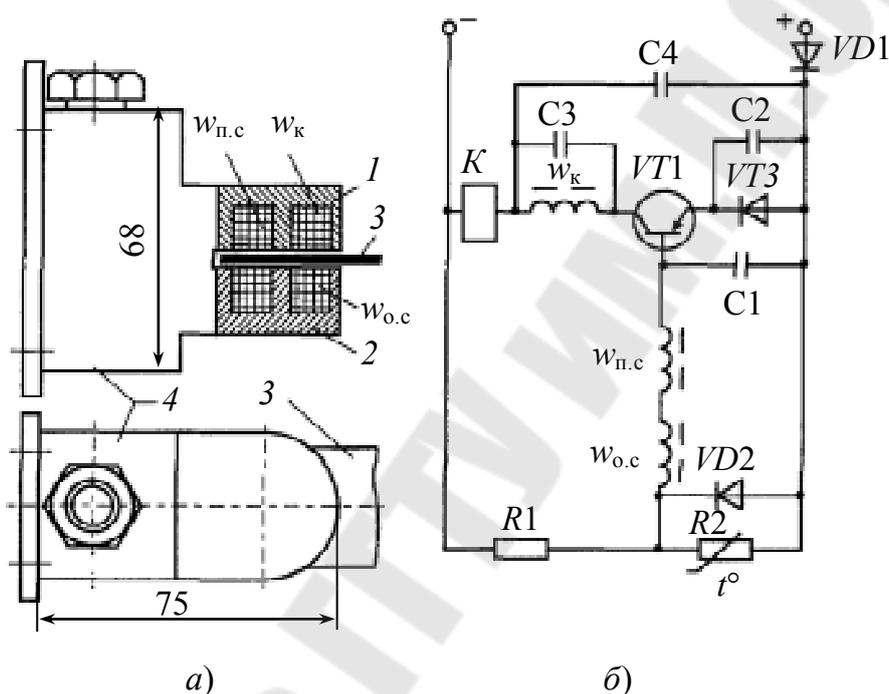


Рис. 8.5. Бесконтактный путевого переключатель БВК-24:
 а – общий вид; б – схема электрическая принципиальная

Если лепесток находится вне сердечника, то разность напряжений, индуктируемых в обмотках $w_{п.с.}$ и $w_{о.с.}$, будет положительной, транзистор $VT1$ закрыт и генерация незатухающих колебаний в контуре $w_k - C3$ (рис. 8.5, б) не возникает. При введении лепестка в щель датчика связь между катушками w_k и $w_{о.с.}$ ослабляется (поэтому лепесток еще называют экраном), на базу транзистора $VT1$ подается отрицательное напряжение и он открывается. В контуре $w_k - C3$ возникает генерация и появляется переменный ток, который индуктирует ЭДС в катушке $w_{п.с.}$ в цепи базы транзистора. В цепи базы транзистора $VT1$ происходит детектирование переменной составляющей тока базы. Транзистор открывается, вызывая срабатывание реле K .

Для стабилизации работы транзистора при колебаниях температуры и напряжения служит нелинейный делитель напряжения, состоящий из линейного элемента – $R1$, полупроводникового терморезистора $R2$ и диода $VD2$.

Погрешность срабатывания составляет 1–1,3 мм. Напряжение питания переключателя БВК–24 составляет 24 В.

Переключатель обладает высокой надежностью, большой допустимой частотой срабатывания и быстродействием.

Фотодатчики

Фотоэлементом называется электровакуумный, полупроводниковый или иной электроприбор, электрические свойства которого (сила тока, внутреннее сопротивление или ЭДС) изменяются под действием падающего на него светового излучения.

В зависимости от среды, в которой происходит движение электронов, фотоэлементы подразделяются на:

- *электронные* (вакуумные) фотоэлементы, в которых движение электронов происходит в вакууме;
- *ионные* (газонаполненные) фотоэлементы, в которых при движении электронов в разреженном газе происходит ионизация атомов газа;
- *полупроводниковые* – в которых освобожденные электроны увеличивают проводимость приборов или создают ЭДС.

В электронных и ионных фотоэлементах используется внешний фотоэффект. Он заключается в том, что источник излучения сообщает части электронов вещества дополнительную энергию, достаточную для выхода их из данного вещества в окружающую среду (вакуум или разреженный газ).

В фоторезисторах (фотосопротивлениях) используется внутренний фотоэффект, который заключается в том, что источник излучения вызывает увеличение энергии у части электронов вещества, ионизацию части атомов и образование новых носителей зарядов – свободных электронов и дырок, вследствие чего электрическое сопротивление вещества уменьшается.

В полупроводниковых фотоэлементах – фотодиодах и фототриодах используется фотоэффект возникновения ЭДС.

Фоторезистор – полупроводниковый прибор, электрическое сопротивление которого резко изменяется под действием падающего на него излучения.

Фоторезистор (рис. 8.6, а) представляет собой стеклянную пластинку 1 , на которую путем напыления в вакууме нанесен тонкий

слой полупроводника 2, а по краям выведены два металлических электрода 3. При изготовлении полупроводниковый слой покрывается прозрачным лаком для защиты от влаги и механических повреждений. Пластинку помещают в корпус с двумя выводами.

Через неосвещенный фоторезистор проходит малый ток, называемый темновым I_T . При освещении фоторезистора через него идет общий ток $I_{св}$.

Разность между общим и темновым токами называется *фото-током* I_{ϕ} .

$$I_{\phi} = I_{св} - I_T. \quad (8.1)$$

В качестве полупроводника применяется сернистый свинец (фотоэлемент ФСА), селенид кадмия (фоторезистор ФСД), сернистый кадмий (фоторезистор ФСК).

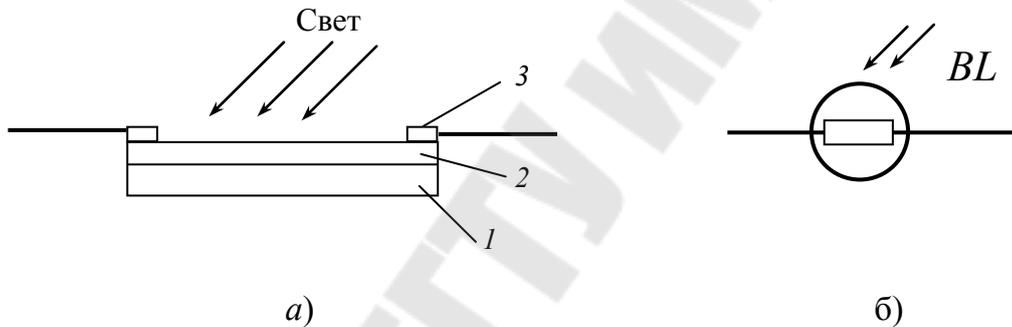


Рис. 8.6. Фоторезистор: а – устройство; б – условное графическое и буквенное обозначение

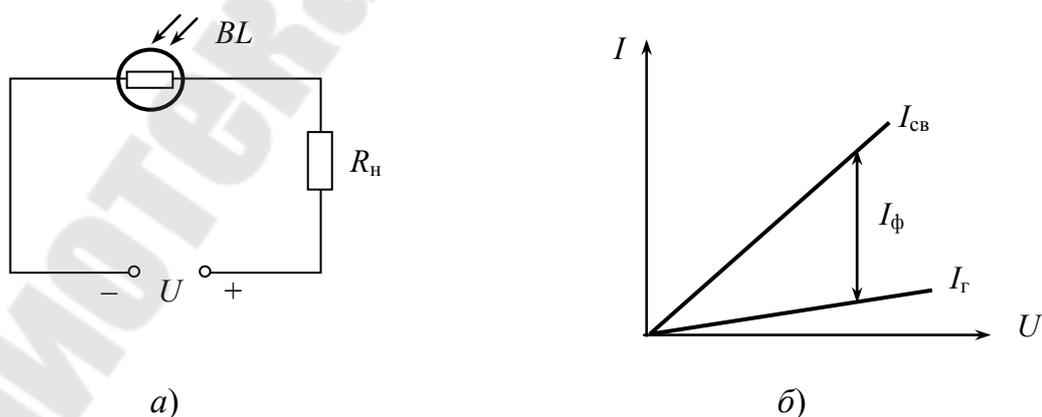


Рис. 8.7. Фоторезистор: а – схема соединения; б – вольтамперная характеристика

Фоторезистор характеризуется интегральной чувствительностью к световому потоку, мкА/лм

$$S = \frac{I_{\Phi}}{\Phi}, \quad (8.2)$$

где I_{Φ} – фототок, мкА; Φ – световой поток, лм.

Зависимость фототока от напряжения при постоянном световом потоке представляет собой вольтамперную характеристику фоторезистора (рис. 8.7, б).

Фоторезисторы обладают значительной инерцией, нелинейной зависимостью фототока от светового потока (световая характеристика $I_{\Phi} = f(\Phi)$ при $U = \text{const}$) и сильной зависимостью электрического сопротивления от температуры, что является их недостатком.

Фоторезисторы нашли широкое применение в промышленной электронике, автоматике, вычислительной технике.

Полупроводниковый фотоэлемент – представляет собой прибор, в котором под действием падающего на него излучения возникает ЭДС, называемая фото-ЭДС.

Фотодатчики используют в схемах защиты, обеспечивающих отключение установки при попадании в опасную зону обслуживающего персонала, для подсчета деталей, контроля целостности режущего инструмента.

Фотореле разрабатываются на базе фоторезисторов (рис. 8.8) и применяются для управления наружным освещением улиц, площадей, территорий предприятий.

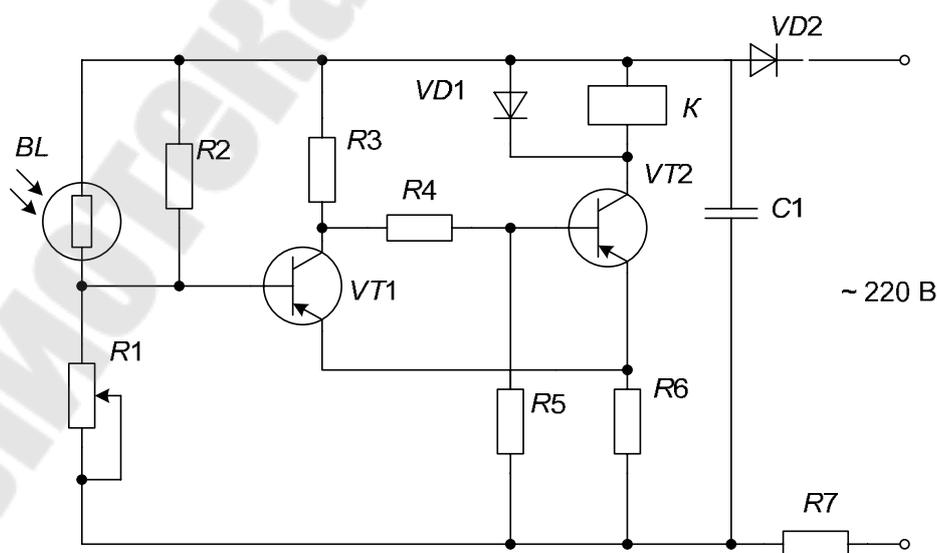


Рис. 8.8. Схема электрическая принципиальная фотореле

Оптоэлектрические датчики

Оптроны и оптоэлектронные реле является одним из основных элементов оптоэлектроники, получивших распространение в последние годы. Он состоит из источника – светоизлучателя (светодиода) 1 (рис. 8.9) и приемника излучения (светочувствительного детектора, фотодиода, фототранзистора или фототиристора) 2, связанных оптической средой и конструктивно объединенных в одном корпусе (оптопара).

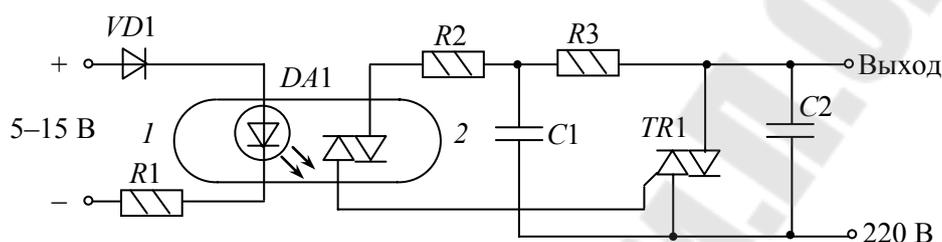


Рис. 8.9. Оптоэлектронное реле

Диодные оптопары характеризуются термостабильностью, линейностью характеристик и используются в быстропереключающихся схемах.

Герконы

Магнитоуправляемые контакты впаяны в стеклянную колбу, заполненную азотом или инертным газом, т. е. изолированы от внешней среды (герметизированы), поэтому их называют сокращенно герконами, что значит герметизированные контакты.

Контакты 1 (рис. 8.10) изготавливают из сплава железа с никелем.

Если к стеклянной колбе 3 геркона поднести постоянный магнит 5 с полюсами *N* и *S* (рис. 8.10, б), то контакты 1 намагничиваются и притягиваются друг к другу. При перемещении магнита на некоторое расстояние контакты разомкнутся.

Герконовое реле. Если вместо постоянного магнита на стеклянную колбу 3 геркона расположить обмотку управления постоянного тока 4 (рис. 8.10, а), то при включении реле по обмотке катушки будет протекать ток, образуется магнитное поле, которое намагничивает контакты 1, в результате чего они притягиваются друг к другу и при этом замыкают цепь управления.

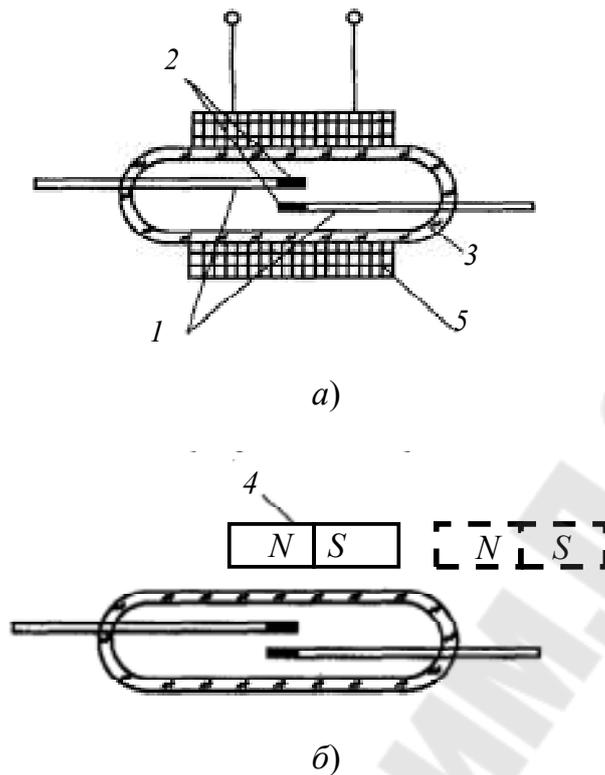


Рис. 8.10. Герконы: а – герконовое реле; б – герконовый путевой выключатель

Герконы и герконовые реле отличаются малыми габаритами, незначительной массой, высокими быстродействием и надежностью, виброустойчивостью, стабильностью контактного сопротивления.

Датчики скорости

Для получения информации о частоте вращения электродвигателя применяются тахогенераторы постоянного и переменного тока, которые преобразуют механическое вращение вала в электрический сигнал.

Тахогенераторы. Тахогенераторы постоянного тока (рис. 8.11, а) представляют собой небольшие генераторы постоянного тока с независимым возбуждением или с возбуждением от постоянных магнитов. Их устройство не отличается от устройства обычных машин постоянного тока. Основной характеристикой тахогенератора является зависимость выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ от угловой скорости ω :

$$U_{\text{вых}} = K_{\text{т.г}} \omega.$$

Схема асинхронного тахогенератора переменного тока показана на рис. 8.11, б. Устройство таких тахогенераторов не отличается от устройства асинхронного однофазного двигателя.

Для измерения частоты вращения вал двигателя механически соединяется с валом тахогенератора посредством передачи или встраивается в машины.

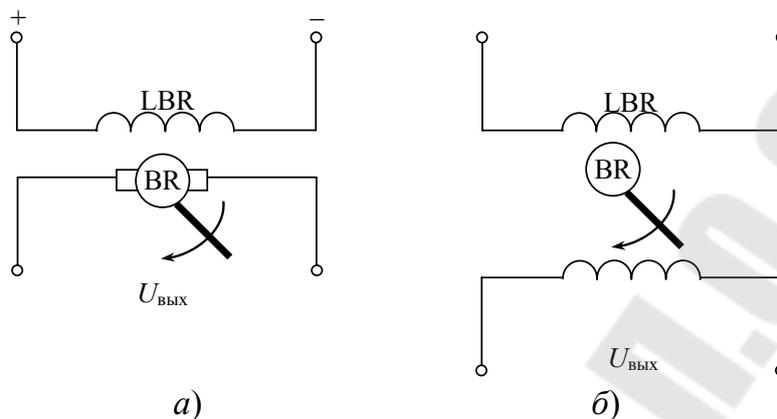


Рис. 8.11. Электрические схемы тахогенераторов:
а – постоянного тока; *б* – переменного тока

Датчик Холла

Основан на эффекте Холла – электромагнитном эффекте, в основе которого лежит отклонение движущихся электронов в магнитном поле.

В магнитном поле на движущиеся электроны воздействует сила.

Вектор силы перпендикулярен направлению, как магнитной так и электрической составляющих поля.

Если внести в магнитное поле с индукцией B (рис. 8.12, *а*) полупроводниковую пластинку (например, из арсенида индия или антимонида индия), через которую протекает электрический ток, то на боковых сторонах, перпендикулярно направлению тока, возникает разность потенциалов. Напряжение Холла (ЭДС Холла) пропорционально току и магнитной индукции.

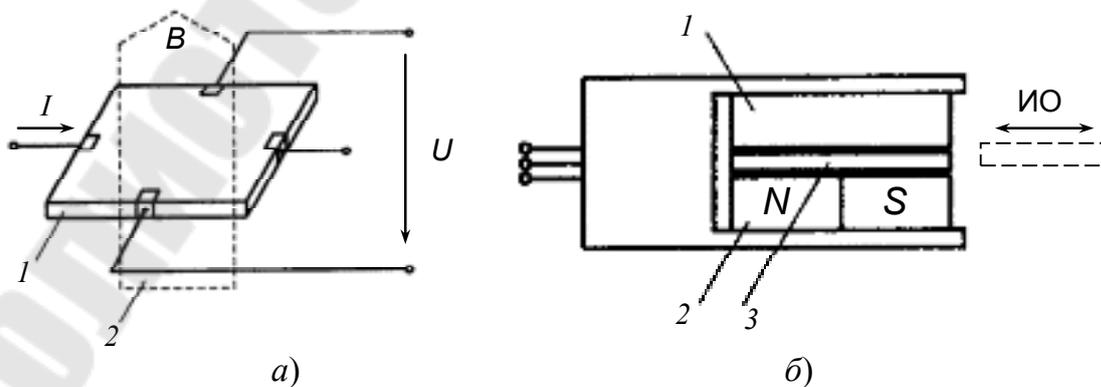


Рис. 8.12. Датчик Холла: *а* – эффект Холла; *б* – датчик Холла

Датчик состоит из постоянного магнита 2, пластины полупроводника 1 (рис. 8.12, б) и интегральной микросхемы. Между пластинкой и магнитом имеется зазор. В зазоре датчика находится стальной экран 3. Когда в зазоре нет экрана 3, то на пластинку 1 полупроводника действует магнитное поле и с нее снимается разность потенциалов. Если же в зазоре находится экран, то магнитные силовые линии замыкаются через экран и на пластинку не действует, в этом случае разность потенциалов на пластинке не возникает.

Интегральная микросхема преобразует разность потенциалов, создающуюся на пластинке, в отрицательные импульсы напряжения определенной величины на выходе датчика. Когда экран находится в зазоре датчика, то на его выходе будет напряжение U_{\max} , если же в зазоре датчика экрана нет, то напряжение U_{\min} на выходе датчика близкое к нулю.

Реле, реализующие функции датчиков (реле времени, напряжения, тока)

В качестве датчиков времени используются реле времени различной конструкции [4].

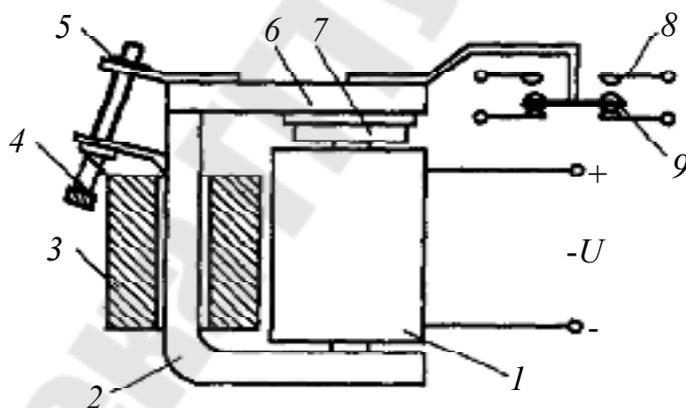


Рис. 8.13. Электромагнитное реле времени

Электромагнитное реле времени. Электромагнитное реле времени постоянного тока состоит из неподвижной части магнитопровода 2 (рис. 8.13) и подвижной части магнитной системы (якорь 6). На неподвижной части магнитопровода установлена катушка 1. Реле имеет неподвижные контакты 8 и подвижные 9, укрепленные на подвижной части.

Включение реле происходит, как у электромагнитного реле без выдержки времени. При подаче напряжения на катушку реле 1 якорь 6 притягивается к сердечнику 2.

Выдержка времени обеспечивается за счет замедления возврата якоря в исходное положение при отключении напряжения с катушки. Замедление обеспечивает медная гильза 3, которая и обеспечивает выдержку времени. Спадающий магнитный поток создает в гильзе, по Закону Ленца, ЭДС и ток направленный так, что поток, создаваемый гильзой, препятствует уменьшению магнитного потока в магнитопроводе. Замедленное спадание потока создает выдержку времени при отпуске [6]. Наличие медной гильзы замедляет спадание магнитного потока, т. е. якорь на некоторое время удерживается на сердечнике магнитопровода, а затем происходит отпадение якоря, а, следовательно, и переключение контактов реле с выдержкой времени.

Выдержка времени реле регулируется ступенчато количеством или размером гильз, одеваемых на магнитопровод, а также толщиной немагнитной прокладки 7 определенной толщины, закрепляемой на якоре 6 (уменьшение толщины прокладки вызывает увеличение выдержки реле и наоборот). Предусмотрена и плавная регулировка за счет изменения натяжения пружины 4 с помощью гайки 5. Чем меньше будет затянута пружина, тем больше будет выдержка времени и наоборот.

Выпускаются несколько типов электромагнитных реле времени. Реле РЭВ 811...РЭВ818 обеспечивают выдержку времени от 0,25 до 5,5 с. Изготавливаются с катушками на напряжение постоянного тока 12, 24, 48, 110 и 220 В.

Пневматическое реле времени. Пневматическое реле времени типа РВП 72 (рис. 8.14) состоит из электромагнита, пневматического демпфера (замедлителя) и микропереключателя.

При подаче напряжения на катушку 3 якорь электромагнита 4 двигаясь, по направляющим 2 втягивается внутрь катушки и освобождает хвостовик 5, связанный с диафрагмой 10. Нижняя полость 7 диафрагмы свободно сообщается с атмосферой, а верхняя полость 11 – через регулируемое отверстие, дроссель 14 и выпускной клапан 8, поэтому скорость перемещения хвостовика зависит от сечения дросселя, так как через него происходит засасывание воздуха из воздушной камеры 12 (через отверстие 14) в верхнюю полость диафрагмы. Сечение дросселя регулируется с помощью иглы 13 и гайки 15, причем, чем больше сечение дросселя, тем меньше выдержка времени реле. Переключение контактов происходит в тот момент, когда хвостовик опустится в крайнее нижнее положение и рычагом 17 нажмет кнопку микропереключателя 16.

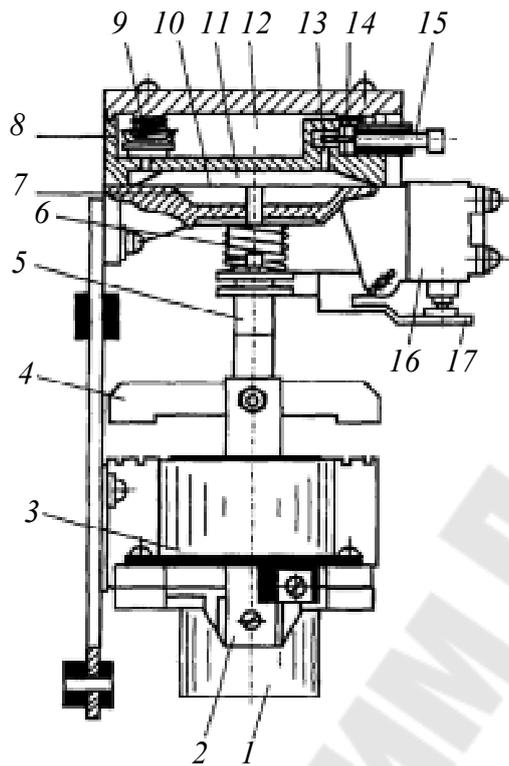


Рис. 8.14. Пневматическое реле времени

Электронные реле времени (рис. 8.15) в своих схемах используют полупроводниковые элементы (транзисторы). Выдержка времени реле определяется временем заряда или разряда конденсаторов.

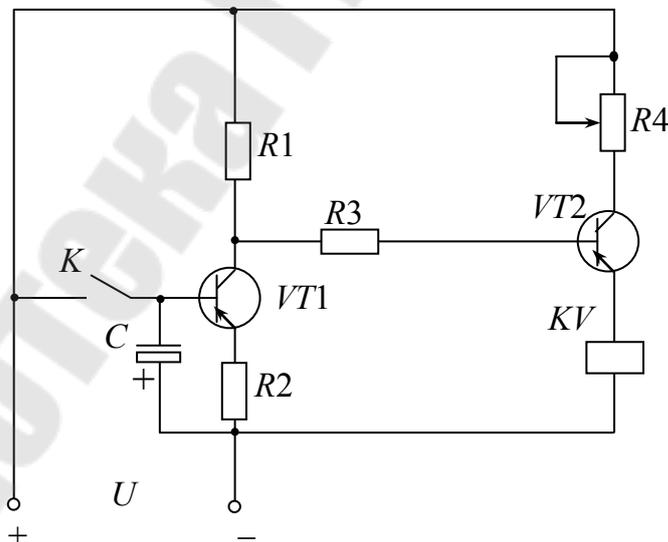


Рис. 8.15. Электронное реле времени

В исходном положении контакт K замкнут, конденсатор C будет заряжаться с полярностью, показанной на рис. 8.15. Команда на начало отсчета времени подается при размыкании управляющего контакта K .

После чего начинается разряд конденсатора C через резистор $R2$ и переход эмиттер – база транзистора $VT2$ отрицательного потенциала. Он откроется, по обмотке реле KV начнет протекать ток, оно срабатывает и переключит свои контакты. Отсчет времени закончится. Выдержка времени реле определяется временем разряда конденсатора C , которое зависит от величины его емкости и сопротивления резистора $R2$. Регулируя эти величины, можно установить требуемые выдержки времени реле. Серийно выпускаются электронные реле времени серии ВЛ46, ВЛ56, которые обеспечивают выдержку времени от 0,1 до 10 мин.

В качестве датчиков тока и напряжения используются реле тока и напряжения. Их катушки включаются непосредственно в цепь контролируемого электроприемника (двигателя). В некоторых схемах реле включаются с трансформаторами тока и напряжения, что позволяет отделить цепи управления от силовых цепей. При достижении током уровня срабатывания или отпускания реле происходит соответствующее переключение контактов в цепи управления двигателем. Реле тока реализуют минимально токовую и максимально токовую защиту электродвигателей, систем электроснабжения промышленных предприятий.

Реле напряжения используются, как реле минимального напряжения. При снижении напряжения сети на 60–70 % от номинального $U_{ном}$ или полного его исчезновения отключается реле минимального напряжения и своими контактами отключает питание схемы управления.

Тема 9. Исполнение и условные обозначения электрических аппаратов

- Степень защиты и климатическое исполнение аппаратов.
- Категория размещения электрических аппаратов.
- Условные графические и буквенные обозначения электрических аппаратов в схемах и чертежах.
- Монтажные символы электрических аппаратов.

Степени защиты и климатическое исполнение аппаратов

Степень защиты персонала от прикосновения к токоведущим и движущимся частям электрических аппаратов и электрооборудования, заключенного в оболочку от воздействия окружающей среды, обозначаются буквами *IP* (международная система *International Protection*) и двумя цифрами. Например, *IP00*, *IP21* и т. п.

Если для изделия нет необходимости в одном из видов защиты, допускается в условном обозначении проставлять знак *X* вместо обозначения того вида защиты, который в данном изделии не требуется, или испытание которого не производится, например, *IPX2*.

Электрические аппараты и электрооборудование по условиям окружающей среды могут иметь следующие исполнения:

У1...У5 – для умеренного климата;

ХЛ1...ХЛ5 – для холодного климата;

УХЛ1...УХЛ5 – для холодного и умеренного климата;

Т1...Т5 – для тропического климата.

Таблица 9.1

Значения и расшифровка первой цифры обозначения степени защиты (ГОСТ 14254–80)

Цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от твердых тел размером более 50 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки большого участка поверхности человеческого тела, например, руки, и твердых тел размером свыше 50 мм

Цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
2	Защита от твердых тел размером более 12 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной не более 80 мм и твердых тел размером свыше 12 мм
3	Защита от твердых тел размером более 2,5 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки инструментов, проволоки, и других предметов диаметром или толщиной более 2,5 мм и от проникновения твердых тел размером более 2,5 мм
4	Защита от твердых тел размером более 1 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки проволоки и твердых тел размером более 1 мм
5	Защита от пыли	Проникновение внутрь оболочки пыли не предотвращено полностью. Однако пыль не может проникнуть в количестве, достаточном для нарушения работы изделия
6	Пыленепроницаемость	Проникновение пыли предотвращено полностью

Категория размещения электрических аппаратов

Различают следующие категории размещения электрических аппаратов:

- 1 – для работы на открытом воздухе;
- 2 – для работы в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ;
- 3 – для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха, а также воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе;
- 4 – для работы в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями (например, в закрытых отапливаемых и вентилируемых производственных и других помещениях);
- 5 – для работы в помещениях с повышенной влажностью (например, в неотапливаемых и невентилируемых подземных помещениях, в помещениях, в которых возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолках).

Первая цифра обозначает степень защиты персонала от соприкосновения с находящимися под напряжением частями или прибли-

жения к ним и от соприкосновения с движущимися частями, а также степень защиты изделия от попадания внутрь твердых посторонних тел (табл. 9.1).

Вторая цифра обозначает степень защиты изделия от попадания воды (табл. 9.2).

Условные графические и буквенные обозначения электрических аппаратов в схемах и чертежах

Электрические аппараты и элементы в схемах электротехнических устройств изображают в виде условных графических обозначений, установленных стандартами ЕСКД или построенных на их основе. При необходимости применяют нестандартизованные условные графические обозначения. Стандартизованные или строящиеся на основе стандартизованных графические обозначения на схемах не поясняют; нестандартизованные обозначения должны быть пояснены на свободном поле схемы.

Если на условные обозначения установлено несколько допустимых вариантов выполнения, различающиеся геометрической формой и степенью детализации, то их применяют в зависимости от назначения и типа разрабатываемой схемы, а также количества информации, которую необходимо передать на схеме графическими средствами. При этом на всех схемах одного типа, входящих в комплект документации на изделие, применяют один выбранный вариант обозначения.

Кроме условных графических обозначений на схемах соответствующих типов можно применять другие категории графических обозначений: прямоугольники произвольных размеров, содержащие пояснительный текст; внешние очертания, представляющие собой упрощенные конструктивные изображения изделий.

Стандартные условные графические обозначения электрических аппаратов и элементов выполняют по размерам, указанным в соответствующих стандартах. Если размеры стандартом не установлены, то графические обозначения на схеме должны иметь такие же размеры, как их изображения в стандартах. При выполнении иллюстративных схем на больших форматах можно все условные графические обозначения пропорционально увеличивать по сравнению с приведенными в стандартах.

**Значения и расшифровка второй цифры обозначения
степени защиты (ГОСТ 14254–80)**

Цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от капель воды	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие
2	Защита от воды при наклоне до 15°	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие при наклоне его оболочки на любой угол до 15°
3	Защита от дождя	Дождь, падающий на оболочку под углом 60° от вертикали, не должен оказывать вредного воздействия на изделие
4	Защита от брызг	Вода, разбрызгиваемая на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного воздействия на изделие
5	Защита от водяных струй	Струя воды, выбрасываемая в любом направлении на оболочку, не должна оказывать вредного воздействия на изделие
6	Защита от волн воды	Вода при волнении не должна попадать внутрь оболочки в количестве, достаточном для повреждения изделия
7	Защита при погружении в воду	Вода не должна проникать в оболочку, погруженную в воду, при определенных условиях давления и времени в количестве, достаточном для повреждения изделия
8	Защита при длительном погружении в воду	Изделия пригодны для длительного погружения в воду при условиях, установленных изготовителем. Для некоторых типов изделий допускается проникновение воды внутрь оболочки, но без нанесения вреда изделию

Допускается на схеме увеличивать размеры обозначений отдельных элементов, если необходимо графически выделить особое или важное значение элемента, а также поместить внутри обозначения, предусмотренные стандартами квалифицирующие символы или дополнительную информацию. С целью повышения компактности

схемы допускается размеры графических обозначений пропорционально уменьшать, учитывая при этом возможности использования техники репродуцирования и микрофильмирования.

Для обеспечения визуального восприятия схемы расстояние между двумя соседними линиями в любом графическом обозначении должно быть не менее 1,0 мм. Выбранные размеры и толщина линий графических обозначений должны быть выдержаны постоянными во всех схемах одного типа на данное изделие. Графические обозначения следует выполнять линиями той же толщины, что и линии связи.

Условные буквенно-цифровые обозначения в электрических схемах. Электрические аппараты и элементы в схемах электротехнических устройств могут иметь буквенные, буквенно-цифровые, или цифровые обозначения.

Буквенно-цифровые обозначения предназначены для записи в сокращенной форме сведений об электрических аппаратах и элементах в документации на изделие или нанесения непосредственно на изделие.

Типы условных буквенно-цифровых обозначений и правила их построения устанавливает стандарт.

Для построения обозначений используют прописные буквы латинского алфавита, арабские цифры.

Обозначение записывают в виде последовательности букв, цифр и знаков в одну строку без пробелов. Количество знаков в обозначении стандартом не устанавливается.

Обязательная часть буквенно-цифрового обозначения – вид и номер обозначения элемента (позиционного обозначения). Остальные части, в том числе и обозначение функции элемента, являются дополнительными.

В электрических схемах, как правило, проставляют только обязательную часть. Буквенная часть (код) позиционного обозначения может состоять из сочетания букв, число которых стандартом не устанавливается. Первая буква кода (обязательная) характеризует группу видов элементов, вторая – вид элемента, третья и последующие – конкретизацию вида элемента, например: *H* обозначает группу сигнальных элементов, *HL* – сигнальную лампу, а *HLG* – сигнальную лампу с зеленой линзой.

Если элемент содержит несколько частей, допускается добавлять (при разнесенном способе изображения) к номеру элемента ус-

ловный номер изображения части элемента, отделяя его точкой. Например, у магнитного пускателя *КМ1* имеется несколько вспомогательных контактов, показанных в разных частях схемы, то их можно обозначать *КМ1.1*; *КМ1.2*; *КМ1.3* и т. п.

Позиционные обозначения на схеме проставляются рядом с графическим изображением прибора, аппарата или элемента с правой стороны или над ним. Все элементы устройства должны быть обозначены одинаково на всех электрических схемах: принципиальных, монтажных и в перечне элементов.

Монтажные символы электрических аппаратов

При составлении и вычерчивании монтажных схем применяют монтажные символы электрических аппаратов, элементов и приборов.

Монтажный символ – это электрическая схема внутренних соединений аппарата, элемента или прибора с таким относительным расположением зажимов (выводов), которое соответствует действительному расположению их на аппарате.

На монтажных символах элементы аппарата (катушка, контакты и т. п.) изображаются в виде условных графических обозначений в соответствии с действующими стандартами ЕСКД.

Выходные зажимы (выводы) всех аппаратов маркируются по определенной системе. Причем для аппаратов, имеющих собственную маркировку выводов, на символах показывается данная фактическая маркировка. Для аппаратов, не имеющих собственной маркировки выводов, на символах изображается условная маркировка, которая в действительности на аппарате отсутствует. Оба вида маркировок изображают одинаково – внутри зажимов.

Условная маркировка выполняется по определенной схеме:

1. Главные контакты аппаратов маркируются однозначными цифрами, начиная с единицы.

2. Вспомогательные контакты маркируются двузначными числами (рис. 9.1), в которых первая цифра обозначает порядковый номер контакта в пределах одного аппарата (порядок независимо от вида контакта), а вторая цифра отражает вид контакта.



Рис. 9.1. Пример маркировки вспомогательных контактов разного вида: *a* – контакт размыкающий; *б* – контакт замыкающий

Принята следующая условность по видам контакта:

- 1 – 2 – размыкающий контакт;
- 3 – 4 – замыкающий контакт;
- 1 – 2 – 3 контакт переключающий;
- 5 – 6 – контакт размыкающий особый;
- 7 – 8 – контакт замыкающий особый;
- 5 – 6 – 7 – контакт переключающий особый;
- 9 – 0 – контакт импульсный.

В главных и во вспомогательных контактах нечетными числами маркируется вход (неподвижный контакт), четными – выход (подвижный контакт). Для контактов, не имеющих четко выраженного вывода подвижных контактов, например, мостиковых, разделение на четные и нечетные числа отсутствуют. В этом случае числа возрастают слева направо или сверху вниз.

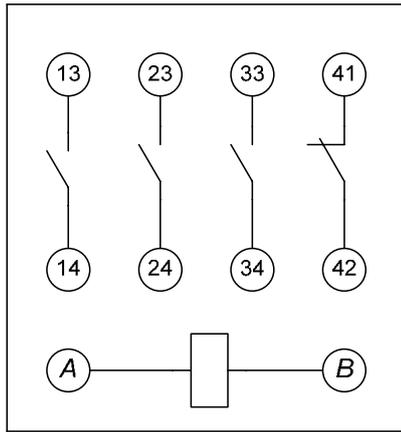
Катушки аппаратов маркируются прописными буквами латинского алфавита:

- A – B* или (*A1–A2*) – включающая;
- C – D* – отключающая;
- Q – H* – защелки.

Если аппарат имеет количество контактов более 10, то порядковые номера контактам присваиваются по группам, а именно: в пределах группы замыкающих контактов, начиная с единицы, и в пределах группы размыкающих контактов, опять начиная с единицы.

Выполняется и условная маркировка зажимов (выводов), которая дает возможность заменить схемы соединений таблицами. В этом случае адреса проводов, соединяющих аппараты, указываются только по маркировке зажима аппарата.

На каждый аппарат имеется два символа – полный и краткий (упрощенный) (рис. 9.2).



a)

13	23	33	41
14	24	34	42
A			B

б)

Рис. 9.2. Пример выполнения монтажных символов электрических аппаратов:

a – монтажный символ электрического аппарата; *б* – монтажный символ упрощенный для выполнения схем на ЭВМ

Полный символ применяется для составления монтажных схем соединений, а краткий (упрощенный) – для таблиц соединений и выполнения схем на ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. – Москва : Главэнергонадзор, 1998.
2. Чунихин, А. А. Электрические аппараты / А. А. Чунихин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1988.
3. Пижурин, А. А. Электрооборудование и электроснабжение лесопромышленных и деревообрабатывающих предприятий / А. А. Пижурин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Лесная промышленность, 1987.
4. Электротехника / под ред А. Я. Шихина. – Москва : Высш. шк., 1998.
5. Рожкова, Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1987.
6. Кисаримов, Р. А. Справочник электрика / Р. А. Кисаримов. – Москва : КубК-а, 1997.
7. Москаленко, В. В. Электрический привод / В. В. Москаленко. – Москва : Высш. шк., 1991.
8. Александров, К. К. Электротехнические чертежи и схемы / К. К. Александров, Е. Г. Кузьмина. – Москва : Энергоатомиздат, 1990.
9. Усатенко, С. Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД / С. Т. Усатенко, Т. К. Коченюк, М. В. Терехова. – Москва : Изд-во стандартов, 1989.
10. Елкин, В. Д. Электрические аппараты / В. Д. Елкин, Т. В. Елкина. – Минск : ДизайнПРО, 2003.

СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1. Введение в дисциплину «Электрические аппараты до 1 кВ».....	3
Тема 2. Электрические аппараты ручного управления.....	19
Тема 3. Электрические аппараты дистанционного управления.....	30
Тема 4. Электрические аппараты защиты.....	43
Тема 5. Автоматические выключатели.....	53
Тема 6. Условия выбора электрических аппаратов.....	62
Тема 7. Бесконтактные электрические аппараты.....	66
Тема 8. Датчики.....	72
Тема 9. Исполнение и условные обозначения электрических аппаратов.....	88
Литература.....	96

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Елкин Валерий Дмитриевич

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДО 1 КВ

**КУРС ЛЕКЦИЙ
по одноименной дисциплине для студентов
специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. И. Жукова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 30.04.08.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Ризография. Усл. печ. л. 5,81. Уч.-изд. л. 5,74.

Изд. № 163.

E-mail: ic@gstu.gomel.by
<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.