

УДК 621.316  
ББК 31.26я7  
Е52

В. Д. Елкин  
Т. В. Елкина

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

*Допущено Министерством образования  
Республики Беларусь в качестве учебного  
пособия для учащихся средних специальных  
учебных заведений по специальности  
«Электротехника»*

ISBN 985-452-074-9

© Елкин В. Д.,  
Елкина Т.В., 2003  
© Оформление — издательство  
«Дизайн ПРО», 2003

ISBN 985-452-075-7

© Елкин В. Д., 2003  
© Оформление — издательство  
«Дизайн ПРО», 2003

Минск  
Издательство «Дизайн ПРО»  
2003

УДК 621.316  
ББК 31.26я7  
Е52

Рецензенты: Минский политехнический колледж, Щербак Л.С.;  
Сацукевич В.Н.

**Елкин В.Д., Елкина Т.В.**

**Е52** Электрические аппараты: Учебное пособие для учащихся  
ССУЗов. — Мн.: Дизайн ПРО, 2003. — 168 с., ил.  
ISBN 985-452-074-9.

Классифицируются электрические аппараты. Рассмотрены электроаппараты ручного и дистанционного управления, защиты, бесконтактные и датчики, а также неисправности и ремонт аппаратов.

Для учащихся ССУЗов, рекомендуется студентам ВУЗов и учащимся ПТУ, инженерно-техническим работникам.

УДК 621.316  
ББК 31.26я7

ISBN 985-452-074-9

© Елкин В. Д.,  
Елкина Т.В., 2003  
© Оформление — издательство  
«Дизайн ПРО», 2003

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Электрооборудование систем электроснабжения, станков, механизмов постоянно совершенствуется благодаря использованию более новых электрических аппаратов управления, защиты, преобразователей, полупроводниковых приборов и элементов. Чтобы обслуживать электрическое оборудование, соответствующее современному уровню развития науки и техники, электротехнический персонал должен знать устройство, принцип действия электрических аппаратов управления, защиты электромеханической и бесконтактной конструкции на основе полупроводниковых элементов, а также их назначение, технические характеристики, уметь правильно выбирать их вместо вышедших из строя и морально устаревших аппаратов и элементов.

Учебное пособие разработано в соответствии с программой предмета «Электрические аппараты» для электротехнических специальностей средних специальных учебных заведений. В нем описан и изложен принцип действия, приведены характеристики и технические данные электрических аппаратов управления, защиты электромеханической и бесконтактной конструкции, электрических преобразователей (датчиков), условия выбора аппаратов защиты.

Пособие поможет учащимся, преподавателям, электротехническому персоналу предприятий и организаций овладеть необходимыми знаниями для успешной эксплуатации оборудования.

Авторы выражают благодарность старшему преподавателю БНТУ В.Н. Сацукевичу за ценные замечания и дополнения, сделанные при рецензировании данного учебного пособия.

## ВВЕДЕНИЕ

Электрические аппараты широко используются в системах электроснабжения предприятий и организаций, для управления электродвигателями и другим электрооборудованием в различных отраслях народного хозяйства. Они подразделяются на аппараты управления и аппараты защиты.

Аппаратом защиты называется устройство, которое автоматически отключает защищаемую цепь при ненормальных режимах [1].

По конструктивному исполнению различают электромеханические и бесконтактные аппараты.

Несмотря на стремительное развитие электроники, электромеханические аппараты, используемые для управления электродвигателями станков, механизмов и машин, все еще находят широкое применение. Основными их достоинствами 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 перенапряжениям и перегрузкам.

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

Бесконтактная полупроводниковая аппаратура используется в тех случаях, когда нужно плавно изменить параметры (регуляторы, регулируемые электроприводы); осуществлять частую коммутацию электрической цепи, при которой контактные аппараты быстро изнашиваются; высокое быстродействие; передавать сигналы, несущие малую энергию; применять эти устройства в любой среде, даже во взрыво- и пожароопасной.

Совмещение достоинств электромеханических и бесконтактных аппаратов способствовало созданию гибридных аппаратов, в которых измерительная часть на полупроводниковых приборах сочетается с электромеханической исполнительной частью.

Надежность работы электрооборудования промышленных установок, электробытовых приборов зависит от конструкции, качества и надежности электрических аппаратов. Следовательно, для того чтобы стать хорошим специалистом в области электроэнергетики и обслуживать электрооборудование, нужно знать конструкцию, принцип действия и технические данные электрических аппаратов.

## ГЛАВА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

### 1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

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

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

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

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

В зависимости от назначения аппараты можно подразделить на следующие группы:

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

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

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

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

3. *Контролирующие аппараты*, предназначены для контроля заданных электрических или неэлектрических параметров. К этой группе относятся датчики. Эти аппараты преобразуют электрические или неэлектрические величины в электрические и выдают информацию в виде электрических сигналов. Такие устройства называются измерительными преобразователями или датчиками. К контролирующим аппаратам относятся датчики тока, давления, температуры, положения, уровня, пьезодатчики, фотодатчики, датчики Холла, а также реле, реализующие функции датчиков, например реле контроля скорости (РКС), реле времени, напряжения, тока.

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

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

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

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

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

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

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

## 1.2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

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

*Характеристики контактов электрических аппаратов:*

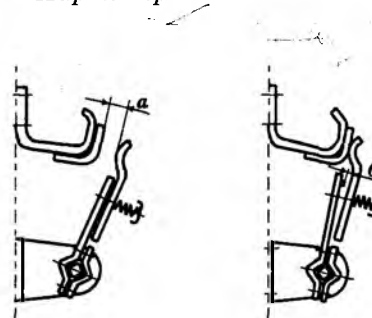


Рис 1.1. Раствор и провал контактов:  
а — раствор; б — провал

*раствор* — кратчайшее расстояние между контактными поверхностями подвижного и неподвижного контактов в разомкнутом положении (рис. 1.1, а);  
*нажатие* — усилие, с которым одна контактная поверхность воздействует на другую;  
*начальное нажатие* — нажатие пружин на контакт при разомкнутом положении контактов;  
*конечное нажатие* — нажатие в момент окончания замыкания подвижного контакта с неподвижным;  
*провал* — расстояние, на которое может сместиться подвижный контакт, если убрать неподвижный (рис. 1.1, б).

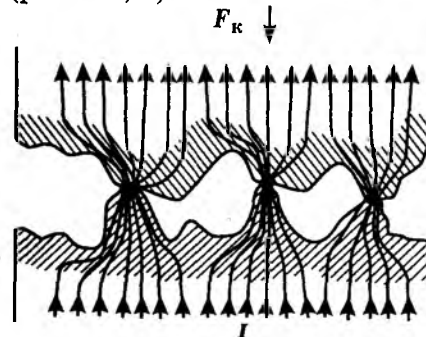


Рис 1.2. Примерная картина прохождения тока в электрическом контакте

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

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

Рассмотрим процесс перехода тока из одного контакта в другой при касании двух цилиндрических контактов на торцах [2].

Выделим одну площадку касания. Предположим, что она имеет форму круга радиусом  $a$  (рис. 1.3, а).

Радиус  $a$  при пластической деформации можно определить по формуле

$$\pi a^2 = F_K / \sigma, \quad (1.1)$$

где  $F_K$  — сила нажатия контактов, Н;

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

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

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

Растекание тока в области стягивания линий тока (рис. 1.3, а) аналогично картине растекания тока из плоского диска радиусом  $a$  в полубесконечную среду.

Учитывая, что размеры области стягивания малы по сравнению с размерами тела контакта, реальные контакты можно заменить полубесконечными телами (рис. 1.3, б). Для двух полубесконечных тел, контактирующих по одной круглой площадке касания, картина поля тока  $I$  и электрических потенциалов  $\phi$  представлена на рис 1.3, б.

Эквипотенциальные поверхности являются полуэллипсоидами вращения, линии тока — гиперболами с общим фокусом. Для такой идеализированной картины растекания тока в контактах переходное сопротивление определяется по уравнению:

$$R_K = \rho / 2a. \quad (1.2)$$

С точностью до 5 % эта формула справедлива, если поперечные размеры контакта в 15 раз превосходят диаметр площадки касания [2]. На практике в большинстве случаев это условие соблюдается, так как размеры площадки касания обычно не превышают долей миллиметра.

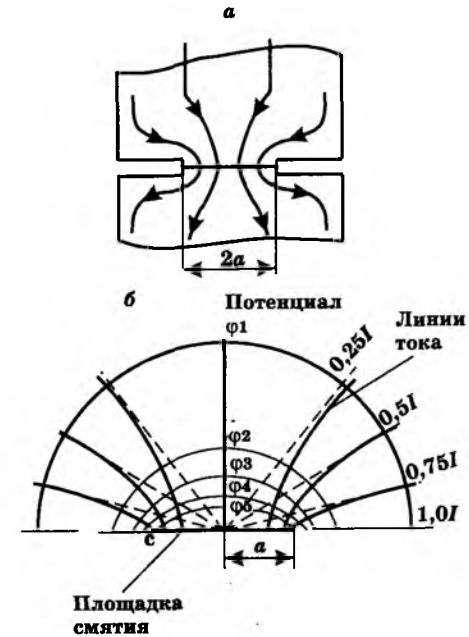


Рис 1.3. Идеализированная картина растекания тока в одноточечном контакте:

а — площадка касания;

б — картина поля тока  $I$  и электрических потенциалов  $\phi$

Если определить радиус площадки  $a$  по формуле (1.1) и подставить его значение в уравнение (1.2), получим

$$R_K = \rho \sqrt{\pi \sigma} / 2 \sqrt{F_K} = k / F_K^{1/2}, \quad (1.3)$$

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

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

Одноточечный контакт используется 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 возрастает с увеличением силы нажатия по весьма сложному закону. При этом переходное сопротивление определяется по формуле

$$R_k = k/F_k^n, \quad (1.4)$$

где  $n$  — показатель степени;  $n = 0,5$  — для одноточечного контакта;  $n = 1,0$  — для поверхностного контакта.

Сопротивление  $R_k$  зависит от способа обработки поверхности контакта. Если поверхность контактов шлифованная, на ней остаются более пологие выступы с большим сечением. Смятие таких выступов возможно только при больших силах нажатия. В связи с этим сопротивление шлифованных контактов выше, чем контактов при более грубой обработке, например, после обработки напильником.

В месте соприкосновения контактов при окислении металла на поверхности образуются пленки с очень высоким удельным сопротивлением (до  $10^4$  Ом·м) [2]. Если напряжение замыкаемой цепи очень мало или нажатие на контакты является недостаточным, контакты иногда вообще не пропускают ток. Для того чтобы ток проходил, нужно увеличить или нажатие контактов, чтобы разрушить пленку, или напряжение цепи, чтобы произошел пробой образовавшейся пленки.

Как только свежеччищенная поверхность контактов соприкоснется с кислородом воздуха, вновь начнется процесс образования оксидной пленки и переходное сопротивление может возрасти в десятки тысяч раз. В связи с этим контакты аппаратов на малые токи (малые нажатия) изготавливают из благородных металлов, которые не позволяют образоваться оксидным пленкам (золото, платина и др.)

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

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

Рассмотрим процессы, которые протекают при включении и отключении электрической цепи.

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

Рассмотрим причины возникновения вибрации на примере контактного механизма электромагнитного контактора (рис.1.4).

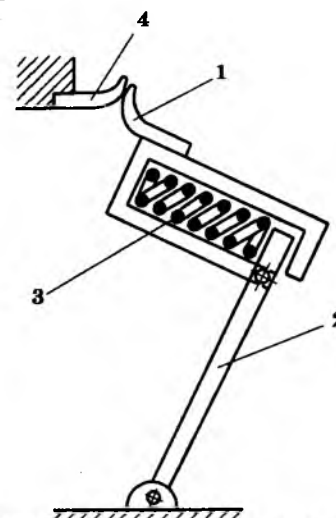


Рис 1.4. Контактный механизм электромагнитного контактора

Подвижный контакт 1 связан с контактным рычагом 2 с помощью контактной пружины 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 контакт 1 отклоняется 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 пере-

мещаться влево. Произойдет новое касание и отклонение контакта. Это явление называется вибрацией контактов, что вызывает многократное образование короткой дуги. Это приводит 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 предварительного начального нажатия контактов. На вибрацию контактов влияет также момент инерции, с возрастанием 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 предварительную силу натяга контактной пружины компенсировать за счет электродинамических сил отклонения и создавать такое нажатие, чтобы падение напряжения на переходном сопротивлении не приводило к плавлению точки касания.

В аппаратах, рассчитанных на токи короткого замыкания, электродинамические силы в контактах столь значительные, что контактные пружины должны развивать усилия в 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 оседает 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 называются электрическим износом или эрозией. При замыкании контактов эрозия незначительная, но при малых нажатиях и небольших расстояниях между контактами она может привести к их спеканию.

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

*Отключение цепи.* При размыкании контактов сила нажатия уменьшается, переходное сопротивление возрастает, поэтому увеличивается температура точек касания. В момент разъединения контактов она 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 дуговой или тлеющий разряд.

При возникновении дугового разряда температура достигает точки плавления материала контактов. Отмечаются интенсивное окисление, распыление материала контактов в окружающее пространство, перенос материала с одного контакта на другой и образование пленок, следовательно, происходит 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 приводит к потере массы или объема и выходу контакта из строя.

Основными средствами борьбы с эрозией в аппаратах, рассчитанных 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.

К материалам, из которых изготавливают контакты, предъявляются следующие требования: высокая электропроводность и теплопроводность; стойкость против коррозии в воздухе и других газах; стойкость против образования оксидных пленок с большим удельным сопротивлением; низкая твердость для уменьшения необходимой силы нажатия; высокая дугостойкость (температура плавления); высокая механическая прочность (уменьшает механический износ и позволяет сохранять форму контактной поверхности); достаточная вязкость (позволяет контактам хорошо прирабатываться друг к другу, снижает переходное сопротивление); невысокая стоимость.

Электротехническая медь — химически чистая медь, полученная электролизом. Она удовлетворяет почти всем требованиям, предъявляемым к материалам, из которых изготавливают контакты, и широко используется в контактных соединениях — как взаимоподвижных, так и взаимонеподвижных. Основной ее недостаток — сильная окисляемость, причем оксидная пленка имеет высокое удельное сопротивление.

Для защиты меди от окисления поверхность контактов покрывают слоем серебра 20...30 мк электролитическим способом. Кроме того, используются контакты с напаянными серебряными пластинками.

Кадмиевая медь — электротехническая медь с присадкой кадмия. Она обладает очень высокими механическими свойствами, хорошо противостоит истиранию. Дугостойкость ее значительно выше, чем у обычной электротехнической меди, а свариваемость существенно ниже.

Серебро имеет высокую электро- и теплопроводность. Пленка оксида серебра отличается низким сопротивлением. Благодаря малой механической прочности, контакты, изготовленные из серебра, успешно работают при малых нажатиях.

Малая дугостойкость и недостаточная твердость серебра препятствуют его использованию при образовании сильной дуги, частых включениях и отключениях. Серебряные контакты применяются в контактах реле, электромагнитных контакторах, пускателях и рассчитаны на токи до 20 А.

Латунь — сплав меди с цинком. Этот материал применяется для изготовления 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 для контактов, у которых контактное нажатие создается

пружинящими свойствами самого материала (например, контактные стойки предохранителей). Такие контакты не могут разрывать электрическую дугу, так как при нагреве теряют свои пружинящие свойства.

Алюминий имеет достаточно высокую электро- и теплопроводность. Его удельный вес на 48 % меньше, чем меди. Контакты из алюминия не изготавливают. Он используется как конструкционный материал для деталей аппаратов. Недостатком алюминия является его низкая механическая прочность (болтовые соединения быстро ослабевают и теряют контактное нажатие).

Вольфрам отличается высокой дугостойкостью, большой стойкостью против эрозии, сваривания. Высокая твердость вольфрама позволяет применять его при частых включениях и отключениях.

Недостатками этого металла являются высокое удельное сопротивление, низкая 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).

Ни один из перечисленных металлов 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 и вольфрам. Эти металлы не образуют сплавов, соединение их осуществляется механическим способом. Такое соединение получило название металлокерамика.

Металлокерамика — механическая смесь двух практически несплавляющихся материалов. Ее получают спеканием смеси из порошков или пропитывают один материал другим. Металлокерамика появилась благодаря тому, что нужен был материал, который наиболее полно отвечал бы требованиям, предъявляемым к материалу контактов. Обычно один из металлов обладает хорошими электрическими свойствами (низким удельным сопротивлением, малой окисляемостью), а второй — высокими механическими и дугостойкими свойствами. Металлокерамика в какой-то степени объединяет свойства разнородных металлов.

Наибольшее распространение получила металлокерамика на основе серебра: серебро — никель, серебро — окись кадмия, серебро — вольфрам, серебро — молибден и др. Дугостойкость металлокерамических контактов обусловлена применением та-

ких металлов, как вольфрам и молибден. Для получения низкого переходного сопротивления контактов используется серебро или медь. Наличие прочных тугоплавких частичек создает своеобразную решетку, удерживает расплавленные частицы серебра и препятствует их объединению в достаточно большие капли. Вследствие этого серебряная металлокерамика при всех положительных качествах серебра (высокая электропроводность, стабильное низкое переходное сопротивление) обладает также достаточной дугостойкостью и износостойкостью, плохо сваривается. Применяется в виде напаяек 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 его дугостойкость, механическая прочность, сопротивление свариванию, но увеличивается сопротивление контактов и уменьшается теплопроводность.

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

Серебряно-графитные и медно-графитные контакты благодаря высокой устойчивости против сваривания используются в качестве дугогасительных контактов, а чаще для изготовления контактов, имеющих в процессе работы постоянное искрение (например, щетки электрических машин).

*Конструкция контактов.* Конструкция контактных соединений и контактов электрических аппаратов разнообразна и зависит от величины тока, тока КЗ в цепи, напряжения, режима работы и назначения аппарата. Для электрических аппаратов управления и защиты применяются разрывные контакты нескольких видов: розеточные, роликовые токосъемные, контакты с самоустанавливающимся мостиком, контакт с перекачиванием подвижного контакта, герметизированные.

В процессе работы контакты в большинстве электрических аппаратов разрывают цепь с током, который превышает ток дугообразования. Возникающая при этом электрическая дуга вызывает преждевременный износ контактов.

Для надежного гашения дуги, образующейся при отключении, между неподвижным и подвижным контактами необходимо создать определенное расстояние — раствор (рис. 1.5). В реальных аппаратах это расстояние устанавливается с запасом.

В зависимости от конструкции крепления контактов изменяются количество контактируемых точек соприкосновения и стабильность контакта.

Контакт, имеющий возможность свободно устанавливаться на поверхности, имеет максимальное количество точек касания.

Институт для развития судна Промышленности



Такой контакт называется самоустанавливающимся (рис. 1.5). Неподвижные контакты 1 и подвижный мостиковый контакт 2 в месте касания имеют сферические (или цилиндрические) напайки 3, выполненные из серебра или металлокерамики. Нажатие контактов создается пружиной 4. После касания контактов скоба 5, связанная с якорем электромагнита, продолжает двигаться вверх на величину, равную провалу контакта.

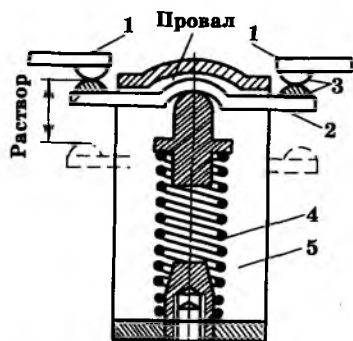


Рис 1.5. Самоустанавливающийся контакт мостикового типа

При включении центр  $O_1$  перемещается по дуге с радиусом  $O_2O_1$  (I). Касание пальцев 1 и 2 происходит в точке  $a$  (II). При дальнейшем перемещении центра  $O_1$  точка касания переходит в точку  $b$  (III). Контакт 2 перекачивается по контакту 1 с небольшим проскальзыванием. При этом пленка оксида на контактах стирается.

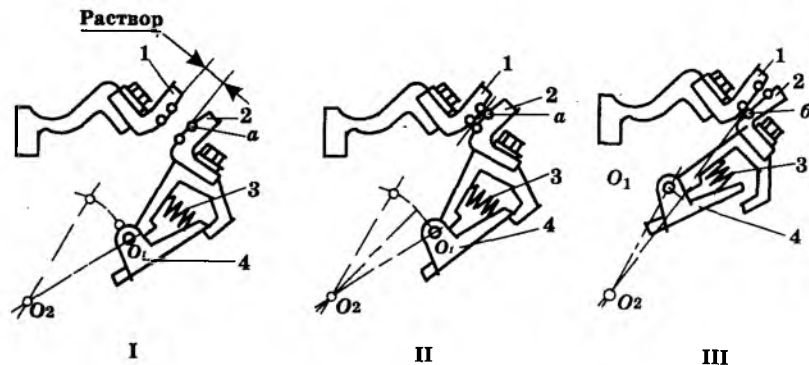


Рис 1.6. Пальцевая система контактов с перекачиванием контактирующих поверхностей

В контактах мостикового типа пленка оксида металла не стирается, поэтому чисто медные контакты здесь не применяются.

На рис. 1.6 показана пальцевая система с перекачиванием, которая широко применяется в контакторах с медными контактами. Контактный рычаг 4 связан с якорем

При отключении дуга загорается между точками  $a - a$ , что защищает от оплавления точки  $b - b$ , в которых контакты соприкасаются во включенном положении. Таким образом, контакт удается разделить на две части: в одной происходит гашение дуги, в другой ток проводится длительно.

Во всех аппаратах, коммутирующих электрическую цепь, существует провал контактов, который обеспечивает необходимое нажатие. Вследствие обгорания и износа контактов в процессе эксплуатации провал уменьшается, что приводит к снижению силы нажатия и увеличению переходного сопротивления контактов. В период эксплуатации провал контактов следует систематически контролировать. Он должен находиться в пределах, требуемых заводом-изготовителем. Это требование особенно относится к аппаратам, работающим в режиме частых включений и отключений (контакторы, магнитные пускатели), где износ контактов является особенно интенсивным. У торцевых контактов мостикового типа провал обычно составляет 3... 5 мм.

### 1.3. ГАШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

Электромагнитные аппараты, которые коммутируют электрические цепи с током, должны не только разрывать электрическую цепь, но и гасить 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  $W$ :

$$W = LI^2/2. \quad (1.5)$$

Здесь  $L$  — индуктивность, Гн;  $I$  — ток в электрической цепи, А.

При размыкании контура запасенная энергия должна быть израсходована. В основном она расходуется на создание разряда между разомкнутыми контактами. В большинстве случаев он является дуговым разрядом, характеризующимся большой плотностью тока в разрядном промежутке, что сопровождается 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 тлеющий разряд в газе или электрическая дуга. Тлеющий разряд появляется тогда, когда ток в отключаемой цепи ниже 0,1 А, а напряжение на контактах достигает 250...300 В. Такой разряд появляется на контак-

тах мощных реле или как переходная фаза к разряду в виде электрической дуги. Дуговой разряд отмечается при токах большой величины, минимальный ток дуги составляет примерно 0,5 А.

### 1.3.1. 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 используется, так как дугу можно погасить более простыми способами, без применения специального оборудования для сжатия воздуха [2].

Для гашения дуги, особенно при критических токах (когда появляются условия для гашения электрической дуги, называются критическими), применяется принудительное дутье воздуха, создаваемого деталями подвижной системы при движении в процессе отключения.

*Гашение дуги в жидкости,* например в трансформаторном масле, является очень эффективным, так как образующиеся газообразные продукты разложения масла при высокой температуре электрической дуги интенсивно деионизируют 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, который состоит 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* облегчает гашение дуги, так как при этом повышается теплоотдача. Установлено, что вольт-амперные характеристики дуги в разных газах, находящихся при разных давлениях (больше атмосферного), будут одинаковыми, если в этих газах одинаковые коэффициенты теплоотдачи конвекцией.

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

*Электродинамическое воздействие на дугу.* При токах более 1 А большое влияние на гашение дуги оказывают электродинамические силы, возникающие между дугой и соседними токоведущими частями. Их удобно рассматривать как результат взаимодействия тока дуги и магнитного поля, созданного током, который проходит по токоведущим частям. Простейшим способом создания магнитного поля является соответствующее расположение электродов, между которыми горит дуга. Для успешно-

го гашения необходимо, чтобы расстояние между электродами по ходу ее движения плавно увеличивалось. При малых токах никакие, даже очень маленькие, ступеньки (высотой 1 мм) нежелательны, так как у их края дуга может задержаться.

*Магнитное гашение.* Если путем соответствующего расположения токоведущих частей не удастся достигнуть гашения при использовании приемлемых растворов контактов, то, чтобы их не слишком увеличивать, 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 нужную сторону.

При последовательно включенной дугогасительной катушке изменение направления тока в главной цепи не вызывает изменения 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 при одном направлении тока, что представляет значительные неудобства. Это главный недостаток конструкции с постоянным магнитом, которая проще, компактнее и дешевле конструкции с дугогасительной катушкой. Способ гашения дуги с помощью последовательно включенной катушки состоит еще в том, что наибольшую напряженность поля нужно создать при критических токах, которые невелики. Дугогасительное поле становится большим только при больших токах, когда можно обойтись и без него, так как электродинамические силы становятся достаточно значительными для выдувания дуги.

Магнитное гашение широко используется в аппаратах, рассчитанных на нормальное атмосферное давление. В автоматических воздушных выключателях на напряжение до 600 В (за исключением быстродействующих) дугогасительные катушки не применяют, так как это аппараты преимущественно ручного управления и у них легко создать достаточно большой раствор контактов. Однако усиление поля с помощью стальных скоб, охватывающих токоведущие части, применяется довольно часто. Дугогасительные катушки используются в однополюсных электромагнитных контакторах постоянного тока, так как раствор контактов там нужно делать значительно меньшим во избежание применения чрезмерно большого втягивающего электромагнита.

### 1.3.2. Гашение дуги переменного тока

При переменном токе возможен процесс гашения дуги, который существенно отличается от процесса гашения ее при постоянном токе. Нормальное гашение дуги переменного тока осуществляется в момент перехода тока через нуль, что значительно изменяет картину процесса гашения дуги. Если при постоянном токе необходимо принудительно оборвать ток дуги и деионизировать дуговой промежуток, то при переменном токе достаточно обеспечить условия, чтобы после погасания ее при прохождении тока через нуль дуга вновь не зажглась в следующем полупериоде. Однако все описанные факторы, способствующие повышению напряженности электрического поля горячей дуги постоянного тока вследствие охлаждения и деионизации ствола, способствует и гашению дуги переменного тока, так как уменьшают сдвиг фаз тока, напряжения в цепи и подводимое к промежутку напряжение.

Так же влияет индуктивность нагрузки: повышение коэффициента мощности существенно облегчает гашение дуги.

*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 и токе не менее 100...180 А дуга не движется. Когда ток лишь немного больше 180 А, дуга сразу начинает двигаться со скоростью 1...2 м/с. Из этого можно сделать вывод, что дуга переменного тока более склонна к неподвижности, чем дуга постоянного тока. С увеличением скорости движения опорных точек дуги восстанавливающая прочность промежутка должна существенно возрасти вследствие снижения их температуры.

*Электродинамическое воздействие на дугу.* При постоянном токе электродинамическое воздействие на дугу с помощью соответствующего расположения токоведущих частей является эффективным, так как способствует быстрому движению ее в нужном направлении.

У выключателей, работающих при напряжении 380 В и частоте сети 50 Гц, критических токов не наблюдается, так как при малых токах, когда дуга не выбрасывается электродинамическими силами из области между контактами, она гаснет из-за высокого напряжения дугового промежутка  $U_d$ .

При разработке конструкции аппаратов следует принимать специальные меры, которые способствуют гашению электрической дуги (увеличение количества разрывов цепи, раствора контактов, электродинамического воздействия на дугу или притяжение ее к стальным деталям и т.д.)

*Количество разрывов цепи.* На переменном токе обычно используют дугогасительные камеры с несколькими металлическими пластинками (деионная решетка), которые установлены на пути дуги и разбивают ее на несколько частей.

*Частота сети.* Большое значение имеет скорость изменения тока перед тем, как он проходит через нуль, т.е. частота сети. При данном действующем значении тока в моменты времени, непосредственно предшествующие прохождению тока через нуль, мгновенное значение тока будет пропорционально частоте ( $i = I \sin \omega t$ ).

При повышенных частотах питающей сети (400 Гц и более) процесс гашения дуги существенно отличается от этого процесса при частоте 50 Гц. При этой частоте к каждому переходу тока через нуль температура дуги снижается на 30...50 % ее максимального значения. При повышенной частоте из-за инерции дугового разряда такого снижения температуры не наблюдается. Это затрудняет гашение дуги [2].

*Гашение дуги в дугогасительных камерах.* Электрическую дугу несложно погасить путем ее растяжения, но при этом коммутационный аппарат получится громоздким. Следовательно, таким же будет и электротехническое устройство. Задача заключается в том, чтобы ограничить распространение дуги и ее пламени и погасить дугу в малом объеме, что необходимо при создании компактных электрических аппаратов и устройств. С этой целью разрыв электрической цепи производят внутри дугогасительных камер, которые устанавливаются в коммутационных аппаратах.

Конструкция камер должна быть такой, чтобы горячие ионизированные газы, которые могут вызвать пробой между соседними токоведущими частями, успевали охладиться и деионизироваться внутри камеры, перед тем как выйти за ее пределы. В некоторых аппаратах защиты камеры делают настолько герметичными, что горячие газы не успевают выйти из них до их охлаждения. При этом внутри камеры создается высокое давление.

Такую конструкцию камеры имеют трубчатые разборные предохранители серии ПР. Камера предохранителя представляет собой фибровый цилиндрический патрон, внутри которого находится плавкая вставка. Гашение дуги, возникающей при плавлении и перегорании плавкой вставки, происходит в среде высокого давления газов.

Для охлаждения и деионизации ствола дуги и газов, которые она образует внутри камер, создают развитую поверхность охлаждения. При этом дуга находится в узкой щели.

Создание в камерах узких щелей, предназначенных для прохождения дуги, ускоряет ее гашение и уменьшает выход горячих газов, если дуга в эти щели входит и движется до погасания. Если дуга в щель не входит из-за большого аэродинамического сопротивления, это может быть причиной замедленного гашения или появления устойчивой дуги из-за разогрева камеры, а также выброса газов в направлении, противоположном требуемому. Это особенно опасно при больших токах. Сужение щелей приводит, с одной стороны, к уменьшению выброса горячих газов, если дуга движется, с другой — к повышенному выделению тепла внутри камеры и к опасности получения затяжной дуги. Это особенно сказывается при частых отключениях электрической цепи (порядка тысячи в час).

Токоведущие и дугогасительные системы должны быть такими, чтобы гашение дуги происходило в течение минимального времени; отсутствовали перенапряжения, опасные для изоляции.

## ГЛАВА 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ

### 2.1. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Аппараты ручного управления (командные аппараты) предназначены для непосредственного управления электродвигателями и другими потребителями электрической энергии переменного и постоянного тока. Они используются для нечастого включения и выключения электрических цепей, реверсирования, переключения схем соединения обмоток, изменения сопротивления при управлении электродвигателями.

К аппаратам ручного управления относятся рубильники, кнопки управления, пакетные выключатели и переключатели, универсальные переключатели, ящики сопротивлений, пусковые и регулировочные реостаты, командоконтроллеры и контроллеры.

Рубильники являются простейшими аппаратами ручного управления (рис. 2.1), которые используются в цепях переменного тока при напряжении до 660 В и постоянного тока при напряжении до 440 В и токах 25...10 000 А. По количеству полюсов они подразделяются на одно-, двух- и трехполюсные; по роду управления бывают с центральной и боковой рукояткой или рычажным приводом; по способу присоединения — с передней и задней стороны аппарата.

Коммутирующим элементом рубильников является подвижный нож 2 (рис. 2.1, а), который входит в губки контактных стоек 3. Переключатель (рис. 2.1, в) отличается наличием дополнительных неподвижных контактов 6 с выводами 7, что обеспечивает переключение подходящих к нему электрических цепей с одной на другую.

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

Для быстрого гашения дуги рубильники снабжены дугогасительными камерами. Без дугогасительных камер их используют, главным образом, как разъединители для создания видимого разрыва электрической цепи.

Существует несколько типов рубильников и переключателей: 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.

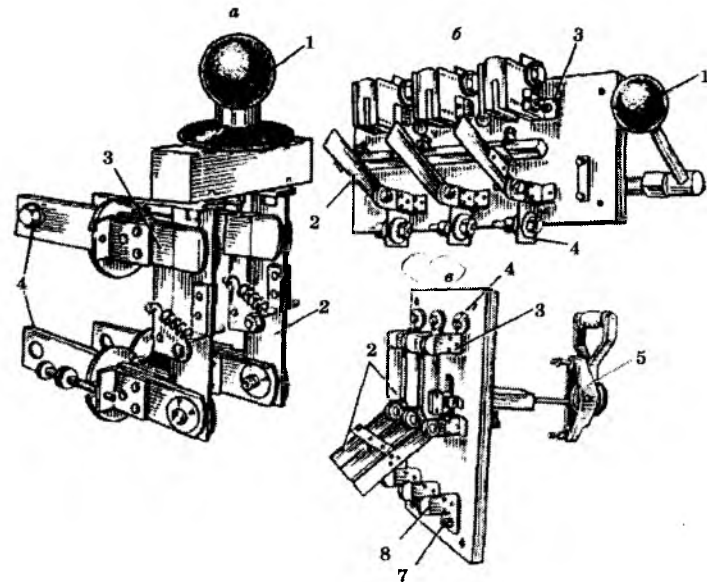


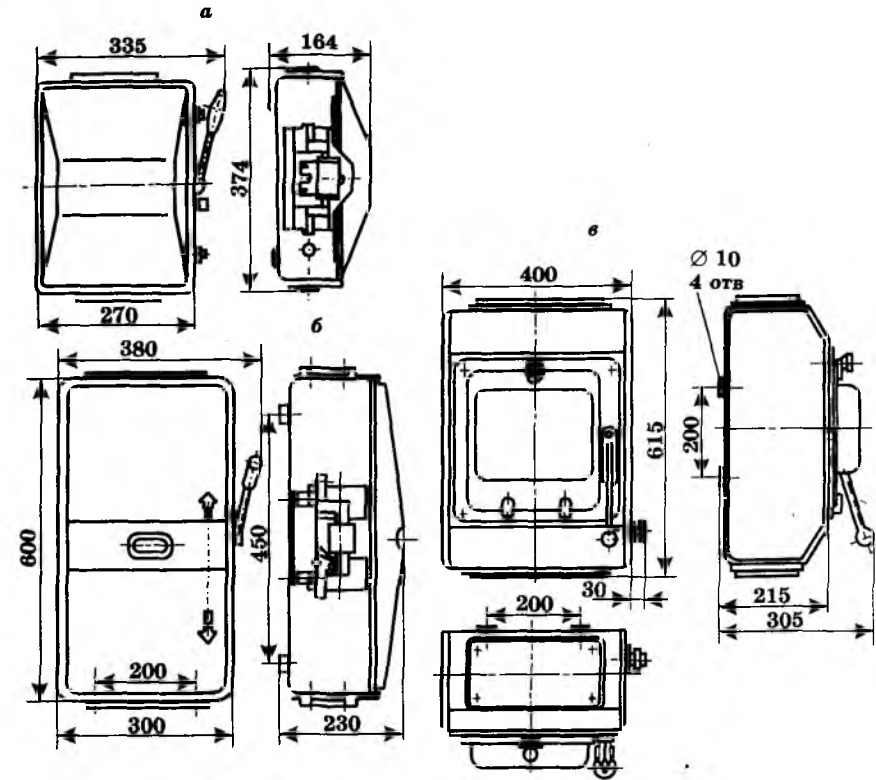
Рис. 2.1. Рубильники:

*a* — с центральной рукояткой; *b* — с боковой рукояткой;  
 Ⓢ — 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, рассчитанный на ток 100 А.

В целях безопасности для обслуживающего персонала рубильники заключаются в защитный металлический кожух. Ящики силовые типа ЯВЗ, ЯВЗШ, ЯВЗБ изготавливают на напряжение до 500 В. Тип ящиков расшифровывается так: Я — ящик; В — выключатель; З — закрытый; Ш — со штепсельным разъемом; Б — контактные стойки с барашковыми зажимами.

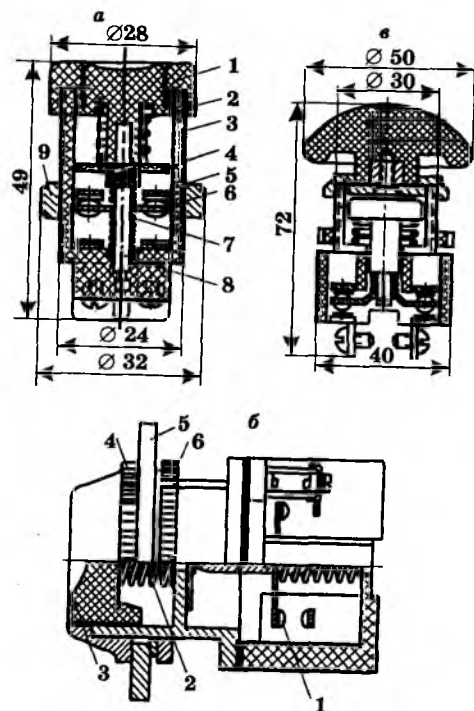
Ящики силовые типа ЯБЦ, ЯБПВУ (рис. 2.2), рассчитанные на напряжение 380 В, предназначены для защиты линий и нечастой коммутации электрических цепей. В качестве ножей используются плавкие предохранители серии ПН2. Ящик ЯБПВУ-1МУЗ рассчитан на ток 100 А, ЯБП1-2УЗ — на 250 А, ЯБПВУ-4УЗ — на 400 А.

Рис. 2.2. Блок предохранитель-выключатель:  
*a* — ЯБПВУ-1МУЗ; *b* — ЯБП1-2УЗ; *c* — ЯБПВУ-4УЗ

**Кнопки управления.** 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 [3].

Кнопки используют в цепях переменного тока при напряжении до 660 В и в цепях постоянного тока — до 440 В.

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

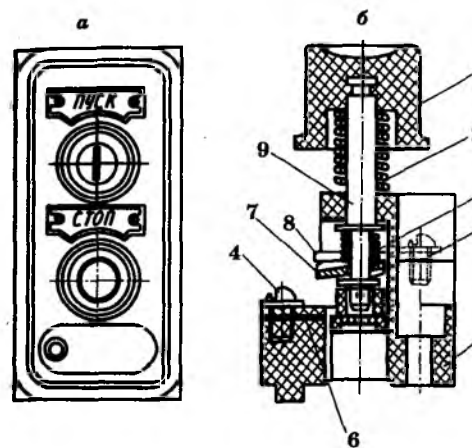


**Рис. 2.3. Кнопки управления:**  
 а — в пластмассовом корпусе;  
 б — с креплением на щите  
 (1 — подвижный контактный мостик;  
 2 — возвратная пружина;  
 3 — толкатель; 4 — гайка;  
 5 — шайба; 6 — гайка);  
 в — с грибовидным толкателем  
 красного цвета

верхняя пружина прижимает 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 изготавливают из металлокерамики или делают посеребренными. Они рассчитаны на 40 000 циклов включений-отключений под нагрузкой.

На рис. 2.3 показаны кнопки управления различной конструкции: в пластмассовом корпусе с цилиндрическим толкателем и креплением на панели управления (рис. 2.3, а); с цилиндрическим толкателем и креплением на щите управления (рис. 2.3, б); с грибовидным толкателем красного цвета (рис. 2.3, в).

Основной частью кнопок управления является кнопочный элемент (рис. 2.3, а), в пластмассовом корпусе 3 которого установлены неподвижные контакты 5. На стержне 8 закреплен контактный мостик 6, который поджат пружинами 7, обеспечивающими нажатие контактов. При свободном толкателе (кнопка не нажата) нижняя пружина прижимает контактный мостик к верхним неподвижным контактам, а если толкатель утоплен,



**Рис. 2.4. Кнопочный пост:**  
 а — общий вид; б — кнопочный элемент (1 — толкатель;  
 2 — возвратная пружина;  
 3 — пружина контактного мостика;  
 4 — винты; 5 — пластмассовое основание; 6 — прокладка;  
 7 — контактный мостик; 8 — диск;  
 9 — стержень)

напряжением 380 В и постоянного тока напряжением 220 В. Они представляют собой малогабаритные многоцепные аппараты поворотного типа.

Пакетные выключатели рассчитаны на токи 10, 25, 60, 100, 250, 400 А при небольшом количестве 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, изготовленных из изолирующего материала. Внутри пакета находится контактная система, которая состоит из неподвижного и подвижного контактов (один полюс). Из таких пакетов можно набрать любое количество 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 зафиксированы 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 крышке 2 камере, которая находится между пакетами при наличии искро-

Два, три и более кнопочных элемента, смонтированные в одном корпусе, образуют кнопочную станцию или кнопочный пост (рис. 2.4). Они выполняются для монтажа на пульте, стене, на полу (ножные) и подвесные. Выпускаются кнопки управления и кнопочные станции серий КЕ, ПКЕ, ПКУ. Структура условного обозначения кнопочных постов серии ПКЕ, ПКУ приведена в прил. 2.

*Пакетные выключатели и переключатели* используются в цепях управления и сигнализации в схемах пуска и реверса электродвигателей небольшой мощности под нагрузкой в цепях переменного тока

гасительных шайб. Выключатель снабжен механизмом мгновенного переключения. Он представляет собой заводную пружину, которая обеспечивает высокую скорость размыкания контактов.

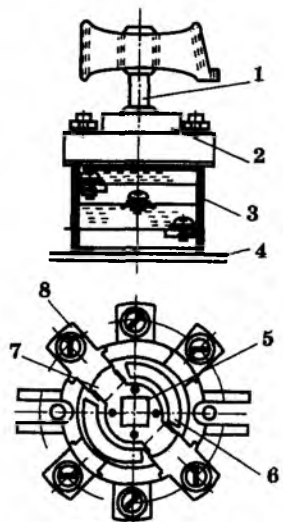


Рис. 2.5 Трехполюсный пакетный выключатель

Тип пакетных выключателей и переключателей расшифровывается следующим образом: ПВ — пакетный выключатель; ПП — пакетный переключатель; ПВМ — выключатель открытого исполнения малогабаритный; ГПВМ — выключатель герметический малогабаритный; первая цифра обозначает количество полюсов; число после дефиса обозначает номинальный ток, А; Н — наличие нулевых положений; цифра после буквы Н — количество линий (например, ПВМ2-10 — пакетный выключатель малогабаритный двухполюсный, рассчитанный на номинальный ток 10 А; ПП2-10/Н2 — пакетный переключатель открытого исполнения двухполюсный на 10 А с двумя нулевыми положениями на две линии).

Технические данные пакетных выключателей и переключателей серии ПВ и ПП приведены в прил. 1 табл. 1.

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

Универсальные переключатели в нормальном исполнении выпускаются серии УП5300; водозащищенные — серии УП5400; взрывозащищенные — серии УП5800. Их различают по количеству секций, а также по фиксированным положениям и углу поворота рукоятки, ее форме и другим признакам.

В переключателях может быть 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 секций. В переключателях с количеством секций от 2 до 8 рукоятка фиксируется в каждом положении или используется рукоятка с самовозвратом в среднее положение. Если секций 10—16, рукоятка фиксируется в каждом положении.

Количество фиксированных положений и угол поворота рукоятки обозначены соответствующей буквой в середине номенклатурного обозначения переключателя. Буквы А, Б и В обозначают исполнение переключателя с самовозвратом в среднее положение без фиксации. Причем буква А указывает на то, что

рукоятка может поворачиваться на  $45^\circ$  вправо (по часовой стрелке) и влево (против часовой стрелки), Б — только  $45^\circ$  вправо, В — на  $45^\circ$  влево. Буквы Г, Д, Е и Ж обозначают, что исполнение переключателя с фиксацией в положениях через  $90^\circ$ . Причем буква Г указывает на то, что рукоятка может поворачиваться вправо на одно положение, Д — влево на одно положение, Е — на одно положение влево и вправо, Ж — может находиться в левом или правом положении под углом  $45^\circ$  к середине (в среднем положении рукоятка не фиксируется).

Буквы И, К, Л, М, Н, С, Ф, Х показывают, что переключатель с фиксацией в положениях через  $45^\circ$ . Буква И указывает на то, что рукоятка может поворачиваться вправо на одно положение, К — влево на одно положение, Л — вправо или влево на два положения, М — вправо или влево на три положения, Н — вправо на восемь положений, С — вправо или влево на одно положение, Ф — вправо на одно положение и влево на два положения, Х — вправо на три положения и влево на два положения.

Рукоятка может иметь овальную и револьверную форму. Обычно переключатели, в которых до 6 секций включительно с круговым вращением (на восемь положений), имеют овальную рукоятку.

В обозначении каждого переключателя приведены сокращенное название, условный номер данной конструкции, номер, указывающий количество 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 — количество секций, Н — тип фиксатора, 20 — номер диаграммы по каталогу.

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

Каждая секция состоит из пластмассовой перегородки 2, контактной скобы 1 с двумя приваренными серебряными контактами, двух скоб 5, взаимодействующих с пальцами 6, зажимов 4 для подключения проводов и кулачковых шайб 3, насаженных на центральный валик. В каждой секции находятся по три кулачковые шайбы, одна из которых предназначена для перемещения левого пальца, другая — для перемещения правого пальца, средняя — для разведения обоих пальцев.

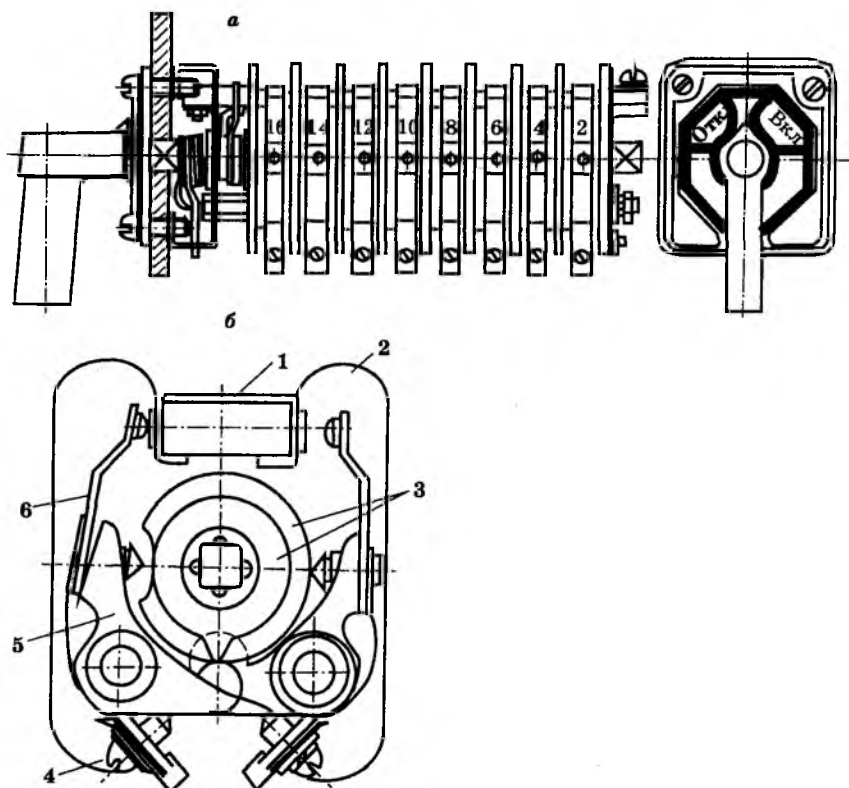


Рис. 2.6. Универсальный переключатель серии УП5300:  
а — общий вид; б — конструкция рабочей секции

Когда валик поворачивается в одну сторону, выступы рабочей поверхности крайней левой или правой шайбы нажимают на хвостовик скобы 5 и соответствующий палец соприкасается с неподвижным контактом скобы 1. При этом шипы пальцев входят во впадины средней шайбы. Разведение пальцев происходит, когда выступ рабочей поверхности средней шайбы нажимает на шипы. Хвостовик скобы 5 в это время оказывается во впадине соответствующей левой или правой крайней шайбы. Фиксация переключателя осуществляется специальным устройством, которое находится на его передней стенке.

Малогобаритные переключатели общего назначения серии ПМО, предназначенные для установки на панелях щитов, могут быть использованы для дистанционного управления коммутационными аппаратами, в цепях сигнализации, измерения и автоматики переменного тока напряжением до 220 В и рассчитаны на номинальный ток 6 А.

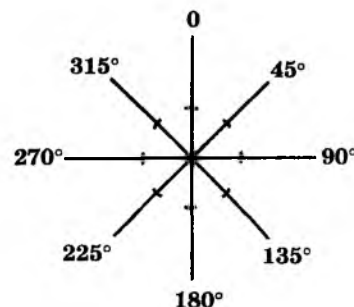


Рис. 2.7. Фиксация подвижной системы контактов переключателей

(вертикальным и горизонтальным) и самовозвратом из двух оперативных положений.

Каждый переключатель серии ПМО имеет свою схему включения и диаграмму замыкания контактов. Типовое обозначение переключателей состоит из типа переключателя ПМОФ, ПМОВ, ПМОВФ; значения углов поворота рукоятки (45° или 90°); типа подвижных контактов в пакетах (считая от рукоятки) — 1.2.3.4.5.6.7.8 следуют при вращении оси жестко за нею, контакты типов 5<sub>1</sub>.5<sub>2</sub>.5<sub>3</sub>.6<sub>1</sub>.6<sub>2</sub>.6<sub>3</sub>.9<sub>1</sub>.9<sub>2</sub>.9<sub>3</sub>.10<sub>1</sub>.10<sub>2</sub>.10<sub>3</sub> имеют на оси холостой ход в пределах 135, 90 и 45° и отстают от оси на величину угла холостого хода; способа установки на панели (I — для установки с монтажной стороны панели, II — для установки с фасадной стороны панели); обозначения типа замка А или Б; номера паспорта переключателя (Д1, Д2 и т.д.).

Например, ПМОФ-45 557777 II А Д105 — переключатель типа ПМОФ с фиксацией ключа через 45°, с подвижными контактами в пакетах типов 5, 5, 7, 7, 7, 7, с ключом типа А для замка, устанавливаемый с фасадной стороны панели, с номером паспорта Д105.

Малогобаритные переключатели серии МК предназначены для установки на щитах управления. Они используются при дистанционном управлении коммутационными аппаратами (реле, электромагнитными пускателями и контакторами) и в цепях сигнализации, измерения, автоматики при напряжении переменного и постоянного тока до 220 В. Контакты переключателей рассчитаны на ток 3 А.

Типы переключателей серии МК:

МКСВФ — со встроенной в рукоятку сигнальной лампой, с фиксацией рукоятки в двух сигнальных положениях (вертикальном и горизонтальном) и самовозвратом из двух оперативных по-



ложений в фиксированное; для включения аппарата рукоятку переключателя сначала переводят в вертикальное положение, затем поворачивают на 45° по часовой стрелке для подачи команды на включение (если рукоятку опустить, она возвращается в вертикальное фиксированное положение); для отключения аппарата рукоятку переключателя сначала переводят в горизонтальное положение, затем поворачивают против часовой стрелки, после того как рукоятку отпускают, она возвращается в фиксированное горизонтальное положение;

МКВФ устроены и работают так же, как МКСВФ, но не имеют встроенной в рукоятку лампы;

МКФ — с фиксацией рукоятки в нескольких определенных положениях;

МКВ — с самовозвратом рукоятки в нейтральное положение;

МКФ<sub>3</sub> — с замком и съемной рукояткой-ключом, которая фиксируется в нескольких определенных положениях.

Переключатели МК состоят из 2, 4 и 6 контактных пакетов.

Пакетные кулачковые универсальные переключатели ПКУ используют в схемах управления электродвигателями в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах (рис. 2.8). Они рассчитаны на напряжение 220 В постоянного тока и 380 В переменного тока.

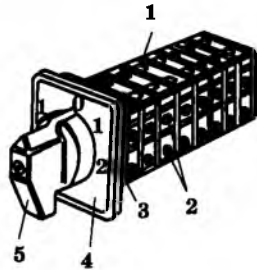


Рис. 2.8. Пакетный кулачковый переключатель:  
1 — пакет; 2 — зажим;  
3 — передняя скоба;  
4 — фронтальный фланец;  
5 — рукоятка

защитной оболочки), 2 — исполнение по способу установки и крепления (установка за панелью щита с креплением за переднюю скобу с фронтальным кольцом), Л — фиксация положения через 45°, 2020 — номер схемы и диаграммы по каталогу.

У переключателей ПКУ-3 количество пакетов достигает 16, они рассчитаны на ток 10 А, а у ПКУ-2 имеется до 12 пакетов, они рассчитаны на ток 6 А.

Переключатели серии ПКУ различают по способу установки и крепления, количеству пакетов, фиксированных положений и углу поворота рукоятки. Буквы и цифры, которые входят в обозначение переключателя, например, ПКУ-3-12Л2020, означают: П — переключатель, К — кулачковый, У — универсальный, 3 — типоразмер, определяемый током 10 А, 1 — исполнение по роду защиты (без

**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 конструкции они подразделяются на кулачковые, барабанные, плоские и магнитные [3].

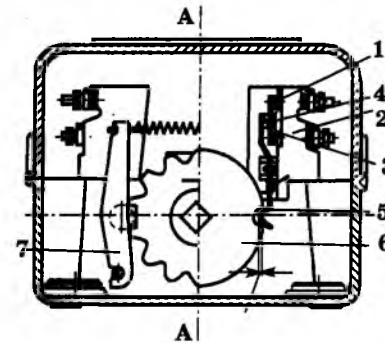
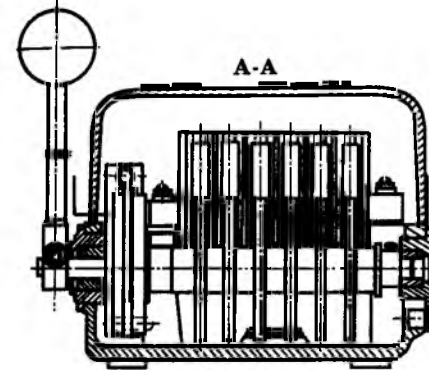


Рис. 2.9. Кулачковый контроллер:  
1 — неподвижные контакты;  
2 — контактодержатель;  
3 — подвижные контакты;  
4 — пружина; 5 — рычаг;  
6 — переключающая шайба;  
7 — фиксатор

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 количество включающих и отключающих кулачков позволяют получить разные комбинации работы контактов контроллера.

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

Кулачковые контроллеры различаются по количеству коммутируемых цепей, виду привода, диаграммам замыкания контактов. Внешний вид и конструкция кулачкового контроллера показаны на рис. 2.9. Устройство одного контактного элемента кулачкового контроллера представлено на рис. 2.10. На валике 1 насажены переключающие шайбы 2 с кулачками 3, 7. При вращении валика 1 кулачок 7 доходит до ролика 9 и, нажимая на него, поворачивает рычаг 8 с подвижными контактами 6, которые замыкают неподвижные контакты 5 на плате 4. При повороте рычага 8 под действием пружины 13 защелка 12

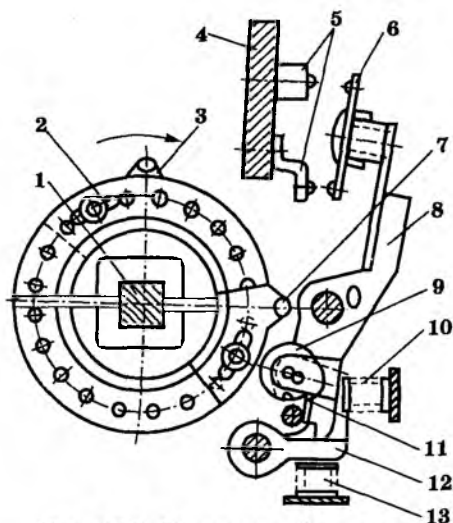


Рис. 2.10. Контактный элемент кулачкового контроллера

Для управления электродвигателями переменного тока используются контроллеры серий ККТ-61, ККТ-61А, ККТ-62, ККТ-62А, ККТ-68А, ККТ-101, ККТ-102, имеющие симметричную для обоих направлений движения механизма схему замыкания контактов на номинальное напряжение 380 В, серий ККП-101, ККП-102 для управления двигателями постоянного тока на напряжение до 440 В. Они имеют до 12 силовых контактов и до 6 позиций рукоятки в каждую сторону от нулевого положения. Каждое рабочее и нейтральное (нулевое) положение имеет фиксацию.

Магнитные контроллеры состоят из командоконтроллера и силовых электромагнитных аппаратов — контакторов. Командоконтроллер с помощью контактов включает или отключает напряжение на катушках контакторов, которые своими силовыми контактами коммутируют цепи электродвигателей. Это позволяет повысить степень автоматизации систем при управлении электроприводами передвижных механизмов.

Для управления двигателями механизмов передвижения используются магнитные контроллеры серий П, Т, К. Силовые цепи и цепи управления контроллеров серии П получают питание от сети постоянного тока, контроллеров серии Т — от сети переменного тока. В контроллерах серии К используются аппараты управления постоянного 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, КС, которые позволяют получить у 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.

Для управления приводами механизмов передвижения используются магнитные контроллеры серий ДП, ДТ, ДК. Магнитные контроллеры применяются для приводов средней и большой мощности до 150 кВт с высокой частотой включений.

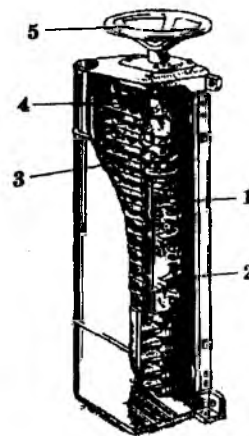


Рис. 2.11. Барабанный контроллер

Барабанный контроллер (рис. 2.11) состоит из изоляционного валика-барабана 1, который вращается при помощи рукоятки (штурвала) 5. На поверхности валика размещены в определенном порядке контактные медные полосы 2, а на изоляционной планке 4 — неподвижные контакты 3. При повороте рукоятки на определенный угол медные полосы соединяются со своими неподвижными контактами. При этом включаются цепи системы управления, которые обеспечивают соответствующий режим работы машины.

Для гашения дуги, возникающей при разрыве контактов, контроллеры снабжены дугогасительными устройствами.

Типовая схема контроллерного управления асинхронным двигателем с фазным ротором показана на рис. 2.12. Управление механизмом передвижения крана осуществляется с помощью кулачкового контроллера *S*. Он имеет 11 фиксированных положений: одно нулевое, пять положений для передвижения вперед и пять положений 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 устанавливается в нулевое положение, при этом замыкается контакт *S12*. Нажатием на кнопку *SB1* катушка контактора *KM1* получает питание по цепи: контакт 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*.

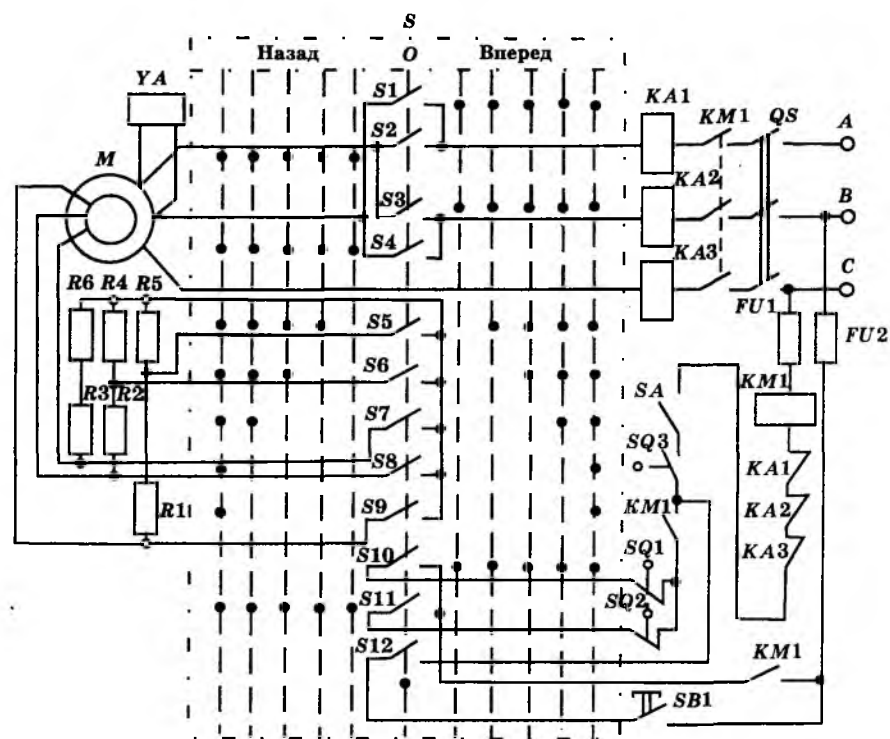


Рис. 2.12. Схема контроллерного управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором

После включения контактора  $KM1$  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.

Резисторы и элементы сопротивлений относятся к аппаратам управления и являются сопротивлениями, которые включаются в цепь якоря машин постоянного тока или в цепь обмотки ротора асинхронного двигателя с фазным ротором.

В зависимости от назначения сопротивления подразделяются на пусковые, тормозные, регулировочные, добавочные, разрядные, нагрузочные, нагревательные, заземляющие, установочные.

Материалы, которые используются для изготовления элементов сопротивлений, должны обладать высоким удельным сопротивлением, высокой рабочей температурой. Для того чтобы значение сопротивления не зависело от температуры, температурный коэффициент сопротивления должен быть высоким.

Сталь имеет низкое удельное сопротивление. На воздухе она интенсивно окисляется, поэтому используется только в маслозаполненных реостатах.

Электротехнический чугун имеет удельное сопротивление значительно большее, чем у стали, и небольшой температурный коэффициент сопротивления. Элементы сопротивления изготавливаются из чугуна способом литья. Применяются при больших мощностях электродвигателей.

Для изготовления реостатов, требующих сохранения постоянного сопротивления, используется константан. Этот материал не подвергается коррозии, имеет высокое удельное сопротивление и рабочую температуру  $500^\circ\text{C}$ , что позволяет создавать элементы малых габаритов. Применяется в виде проволоки круглого сечения и ленты.

Нихромы — это сплавы, обладающие высоким удельным сопротивлением и высокой рабочей температурой, которые применяются для изготовления нагревательных элементов.

У фехрала удельное сопротивление выше, чем у константана, более чем в 2 раза, а рабочая температура достигает  $850^\circ\text{C}$ .

(Конструкция элементов.) Элементы сопротивлений в виде свободной спирали из проволоки или ленты изготавливаются путем навивки на цилиндрической оправе «виток к витку». Необходимый зазор между витками обеспечивается при креплении к опорным керамическим изоляторам.

Для увеличения жесткости спирали проволоку можно навивать на керамический каркас в виде трубки. Спиральная канавка на поверхности каркаса предотвращает замыкание витков между собой. Такая конструкция позволяет повышать рабочую температуру элемента.

При диаметре проволоки меньше  $0,3$  мм канавку на поверхности каркаса не делают. Изоляция между витками создается за счет окислы (пленки, оксидов), образующейся при нагреве проволоки. Для предохранения от механических повреждений провод сверху покрывают стекломалью. Такие трубчатые резисторы марки ПЭ широко используются для управления электродвигателями малой мощности.

Для пуска электродвигателей мощностью до  $10$  кВт применяются проволочные или ленточные элементы сопротивлений (рис. 2.13). На стальной пластине 1 (рис. 2.13, а) укреплены изоляторы 2 из фарфора или стеатита. Проволоку 3 навивают на канавки, расположенные на поверхности изоляторов. Для больших токов используется лента. Проволоку или ленту изготавливают из константана. Максимально допустимая температура равна  $300^\circ\text{C}$ . Эти элементы komponуются в металлический ящик, где находится несколько элементов сопротивлений.

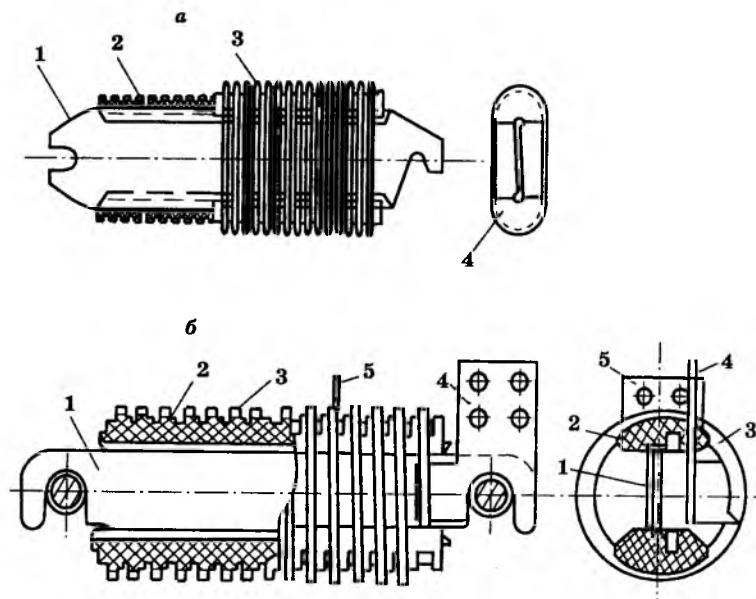


Рис. 2. 13. Элемент сопротивления:  
а — на стальной пластине; б — фехралевый элемент

Для мощных электродвигателей используются фехралевые элементы (рис. 2.13, б). Для уменьшения габаритов и получения необходимой жесткости фехралевую ленту укладывают на ребро в канавки изоляторов. Элементы устанавливают в ящики сопротивлений по пять штук. Мощность каждого элемента 0,45 кВт. При больших токах элементы соединяются параллельно.

## ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

### 3.1. МАГНИТНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Магнитная система является одним из основных элементов электротехнических устройств и электрических аппаратов. В нее 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 широко используются в аппаратостроении как элемент привода аппаратов (электромагнитные контакторы, пускатели, реле, выключатели) и как устройство, создающее электромагнитные силы, например, в электромагнитных муфтах и тормозных электромагнитах.

Конфигурация магнитной цепи электромагнитных устройств зависит от назначения аппарата. Она может быть 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, которую образует замкнутый магнитопровод, магнитный поток находится в однородной среде. Неоднородной называется магнитная цепь, состоящая из участков, которые имеют разные сечения, воздушные зазоры, ферромагнитные тела с различными магнитными свойствами [4]. Из курса физики известна способность вещества под воздействием напряженности внешнего магнитного поля  $H$  создавать собственное поле, называемое намагниченностью  $M$ , которая характеризуется магнитной восприимчивостью  $\chi$ . Вещества, имеющие высокое значение магнитной восприимчивости, называются ферромагнитными или магнитными. К ним относятся железо (Fe), кобальт (Co), никель (Ni), редкоземельные элементы: гадолиний (Gd), диспрозий (Dy), а также сплавы, созданные на основе этих элементов.

Магнитная индукция в веществе определяется по формуле

$$B = \mu_0(H + M) = \mu_r \mu_0 H = \mu_a H, \quad (3.1)$$

где  $\mu_0$  — абсолютная магнитная проницаемость вакуума, которая называется магнитной постоянной, Гн/м ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ );  $\mu_a$  — абсолютная магнитная проницаемость;  $\mu_r = 1 + \chi$  — относительная магнитная проницаемость;  $\chi$  — магнитная восприимчивость.

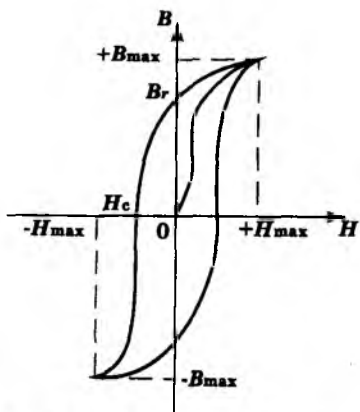


Рис. 3.1. Петля гистерезиса

нуля), то цилиндр явится источником магнитного поля за счет намагниченности материала — остаточной намагниченности. Чтобы разрушить эту остаточную намагниченность, нужно создать поле, которое будет направлено противоположно полю, создаваемому цилиндром, для преодоления задерживающей, так называемой коэрцитивной силы  $H_c$ , которая стремится сохранить созданную микротоками намагниченность.

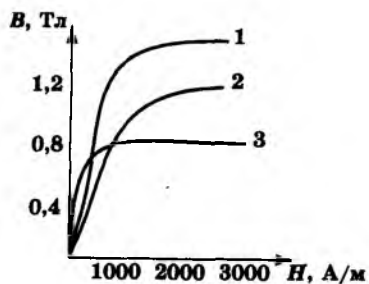


Рис. 3.2. Кривые намагничивания:

- 1 — технически чистое золото;
- 2 — электротехническая сталь;
- 3 — пермаллой

ротехнической стали 2 и пермаллоя 3.

Магнитомягкие материалы применяются для устройства магнитных цепей электрических машин, аппаратов, электромагнитов и т.п.

Зависимость магнитной индукции  $B$  в веществе (материале) от 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 исчерпаны.

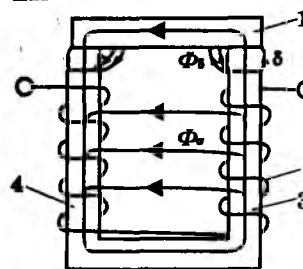
Если элемент магнитной цепи, например цилиндр из ферромагнитного материала, поместить в однородное магнитное поле, он намагничивается. Если после его намагничивания до состояния насыщения внешнее поле убрать (уменьшить до

В зависимости от значения коэрцитивной силы  $H_c$  все магнитные материалы подразделяются на магнитомягкие и магнитотвердые.

Магнитомягкие материалы отличаются малой коэрцитивной силой  $H_c$  (круто поднимающаяся основная кривая намагничивания и относительно малая площадь петли гистерезиса) (рис. 3.1). К ним относятся электротехническая сталь, технически чистое железо, сплавы железа и никеля (пермаллой) и т.д. Эти материалы размагничиваются даже в магнитном поле Земли. На рис. 3.2 приведены кривые намагничивания технически чистого железа 1, электротехнической стали 2 и пермаллоя 3.

Магнитотвердые материалы также изготавливаются из сплавов на основе железа, кобальта, никеля по специальной технологии. Они отличаются большой коэрцитивной силой  $H_c$  и имеют широкую петлю гистерезиса. В намагниченном состоянии сохраняют намагниченность и после снятия намагничивающего поля. Из таких материалов изготавливают постоянные магниты, которые используются в качестве источников магнитного поля в магнитных системах различных электротехнических устройств.

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, 4 называются стержнями. Намагничивающая обмотка создает магнитодвижущую силу МДС, под действием которой возбуждается магнитный поток. Этот поток замыкается как через зазор  $\delta$ , так и между другими частями магнитной цепи, которые имеют различные магнитные потенциалы.



Воздушный зазор  $\delta$ , изменяющийся при перемещении якоря, называется рабочим зазором. Соответственно поток, проходящий через рабочий зазор, называется рабочим потоком и обозначается  $\Phi_w$ . Все остальные потоки в магнитной цепи называются потоками рассеяния  $\Phi_{sc}$ . Сила, которую развивает якорь электромагнита, как правило, определяется потоком в рабочем зазоре  $\delta$ .

Магнитный поток создается током  $I$ , протекающим по обмотке катушки. Произведение тока на количество витков катушки  $W$  определяет намагничивающую силу  $IW$ .

Задачей расчета магнитной цепи является определение МДС катушки, необходимой для создания рабочего потока заданной величины (прямая задача) или рабочего потока по известной МДС катушки (обратная задача) [2]. Эти задачи можно решить с помощью законов Кирхгофа применительно к магнитной цепи.

Как и в электрических цепях, используются уравнения магнитного состояния:

алгебраическая сумма магнитных потоков, сходящихся в любом узле, всегда равна нулю (первый закон Кирхгофа):

$$\sum \Phi = 0; \quad (3.2)$$

алгебраическая сумма снижения магнитного потенциала по замкнутому контуру равна намагничивающей силе этого контура (второй закон Кирхгофа):

$$\sum \Phi dR_m = IW, \quad (3.3)$$

где  $R_m$  — магнитное сопротивление,  $1/\text{Гн}$ .

Для простейшей неразветвленной магнитной цепи

$$\Phi R_w = IW. \quad (3.4)$$

Закон полного тока можно сформулировать так: циркуляция вектора напряженности поля  $H$  по замкнутому контуру равна результирующей намагничивающей силе этого контура:

$$Hdl = IW. \quad (3.5)$$

Для однородного поля

$$Hl = IW. \quad (3.6)$$

В табл. 3.1 проведена аналогия между параметрами магнитных и электрических цепей.

Таблица 3.1

Параметры магнитной и электрической цепи

Магнитная цепь	Электрическая цепь
Магнитный поток $\Phi$ , Вб	Ток $I$ , А
Намагничивающая сила $IW$ , А	Напряжение $U$ , В
Индукция $B$ , Тл	Плотность тока $j$ , А/м <sup>2</sup>
Напряженность магнитного поля $H$ , А/м	Напряженность электрического поля $E$ , В/м
Магнитная проницаемость $\mu$ , Гн/м	Удельная электропроводимость $\sigma$ , 1/(Ом·м)
Удельное магнитное сопротивление $\rho_m$ , м/Гн	Удельное электрическое сопротивление $\rho$ , Ом·м
Магнитное сопротивление $R_m$ , 1/Гн	Электрическое сопротивление $R_e$ , Ом
Магнитная проводимость $G_m$ , Гн	Электрическая проводимость $G$ , 1/Ом

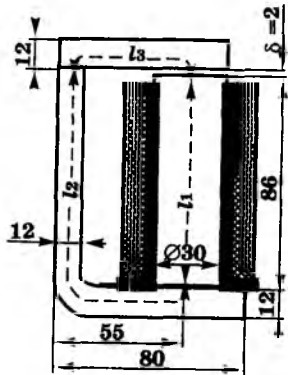


Рис. 3.4. Магнитная цепь электромагнитного реле

*Пример.* Магнитная цепь электромагнитного реле клапанного типа, изготовленная из стали, имеет поток  $\Phi = 1,2 \cdot 10^3$  Вб. Нужно определить количество витков катушки реле, необходимое для возбуждения созданного магнитного потока при токе в катушке 0,2 А. Ярмо и якорь реле прямоугольного сечения 0,075 х 0,012 м, сердечник круглого сечения диаметром 0,03 м. Остальные размеры приведены на рис. 3.4.

**Решение.** Магнитная цепь делится на однородные участки: сердечник круглого сечения:

$$S_1 = \pi d^2 / 4,$$

$$S_1 = 3,14 \cdot 0,03^2 / 4 = 7,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$l_1 = 0,086 \text{ м};$$

ярмо прямоугольного сечения:

$$S_2 = 0,075 \cdot 0,012 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$l_2 = 0,149 \text{ м};$$

якорь прямоугольного сечения:

$$S_3 = 0,075 \cdot 0,012 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$l_3 = 0,061 \text{ м};$$

воздушный зазор, сечение которого принимаем равным сечению сердечника:

$$S_\delta = 7,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$\delta = 0,002 \text{ м}.$$

Магнитная индукция в участках цепи  $B = \Phi / S$ :

$$B_1 = 1,2 \cdot 10^{-3} / 7,1 \cdot 10^{-4} = 1,69 \text{ Тл},$$

$$B_2 = 1,2 \cdot 10^{-3} / 9 \cdot 10^{-4} = 1,33 \text{ Тл},$$

$$B_3 = 1,2 \cdot 10^{-3} / 9 \cdot 10^{-4} = 1,33 \text{ Тл},$$

$$B_\delta = 1,2 \cdot 10^{-3} / 7,1 \cdot 10^{-4} = 1,69 \text{ Тл}.$$

Напряженность магнитного поля на стальных участках можно определить по кривой намагничивания литой стали:

$$H_1 = 5700 \text{ А/м}; H_2 = 1800 \text{ А/м}; H_3 = 1800 \text{ А/м}.$$

В воздушном зазоре

$$H_\delta = B_\delta / \mu_0 = 1,69 / 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} = 135 \cdot 10^4 \text{ А/м}.$$

Составляем уравнение по закону полного тока:

$$IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 + H_\delta \delta;$$

$$IW = 5700 \cdot 0,086 + 1800 \cdot 0,149 + 1800 \cdot 0,061 + 135 \cdot 10^4 \cdot 0,002 = 3586 \text{ А}.$$

Количество витков обмотки

$$W = IW / I = 3586 / 0,2 = 17840.$$

*Магнитная цепь с постоянным магнитом.* В электрической аппаратуре и других устройствах в качестве источников намагничивающей силы широко используются постоянные магниты. Они обладают свойством длительно сохранять остаточную намагниченность, изготавливаются из магнитотвердых материалов, которые характеризуются широкой петлей магнитного гистерезиса и имеют в намагниченном состоянии большой запас магнитной энергии.

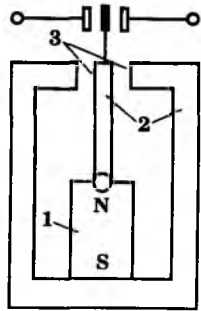


Рис. 3.5. Магнитная система поляризованного реле

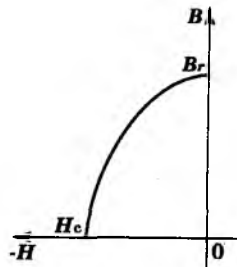


Рис. 3.6. Характеристика размагничивания постоянного магнита

На рис. 3.5 схематично изображена магнитная система поляризованного реле. Система состоит из нескольких участков: из магнитотвердого материала — постоянного магнита 1, из магнитомягкого материала 2, который служит магнитопроводом, и воздушного зазора 3, форма и размеры которого определяются конструкцией и назначением устройства.

Важнейшей характеристикой таких материалов является участок петли гистерезиса, который расположен во втором квадранте (между положительной осью индукции  $B$  и отрицательной осью напряженности поля  $H$ ) и называется кривой размагничивания (рис. 3.6). Эта характеристика используется при расчете постоянных магнитов.

Согласно закону полного тока сумма магнитных напряжений участков магнитной цепи равна нулю, так как внешняя намагничивающая сила (ампер-витки) отсутствует:

$$H_T l_T + \sum Hl = 0$$

или

$$U_{MT} = -\sum U_M. \quad (3.7)$$

Здесь  $U_{MT}$  — магнитное напряжение постоянного магнита;

$\sum U_{MT} = \sum (U_{M.c} + U_{M.o})$  — сумма магнитных напряжений всех участков магнитной цепи, включая воздушные зазоры, но без постоянного магнита.

**Особенности электромагнитных цепей переменного тока.** Магнитные цепи на переменном токе обладают следующими особенностями:

ток в катушке электромагнита зависит главным образом от ее индуктивного сопротивления;

магнитное сопротивление цепи зависит не только от абсолютной магнитной проницаемости  $\mu_a$ , длины  $l$ , сечения  $S$  сердечника, но и от потерь в стали, наличия короткозамкнутых обмоток (витков), расположенных на сердечнике;

для снижения потерь на вихревые токи магнитопровод изготавливают шихтованным, прямоугольного поперечного сечения [2].

Шихтованные сердечники электромагнитов на переменном токе выполняются из листов электротехнической стали, причем чем выше частота тока, тем меньше должна быть толщина листа.

**Короткозамкнутые витки магнитопроводов.** Сила тяги электромагнита переменного тока изменяется во времени по закону

$$F_z = F_m \sin^2 \omega t, \quad (3.8)$$

где  $F_m$  — амплитудное значение силы тяги электромагнита.

Следовательно, для притяжения якоря нужно, чтобы среднее значение силы было больше противодействующего усилия. В определенные моменты времени сила противодействующих пружин становится больше силы электромагнита, при этом происходит отрыв якоря от сердечника. По мере увеличения силы электромагнита якорь снова притягивается к сердечнику. В результате он будет непрерывно вибрировать, создавая шум и ненормальные условия работы для механизма и контактов.

Для ликвидации этого явления в электромагнитах, работающих в однофазной сети переменного тока, используются короткозамкнутые витки, которые изготовлены из меди или алюминия и встроены в торец якоря.

При правильном подборе короткозамкнутого витка полностью устраняется гудение и дрожание сердечника электромагнитного аппарата.

**Ускорение и замедление срабатывания электромагнита.**

После подачи напряжения на обмотку возрастает поток в магнитной цепи до тех пор, пока сила, которую развивает электромагнит, не станет больше противодействующей силы. После этого якорь начинает свое движение. Ток и магнитный поток, изменяясь, достигают установившихся значений после того, как якорь занимает свое конечное положение.

Величина тока, при котором начинается движение якоря, называется током трогания  $i_{тр}$ , а время, в течение которого ток увеличивается от нуля до тока трогания  $i_{тр}$ , временем трогания  $t_{тр}$ .

Полное время срабатывания состоит из времени трогания и времени движения:

$$t_{срб} = t_{тр} + t_{дв}. \quad (3.9)$$

В большинстве случаев основную часть времени срабатывания составляет время трогания. Поэтому для ускорения и замедления срабатывания электромагнита изменяют время трогания  $t_{тр}$ .

Скорость увеличения тока в момент включения зависит от питающего напряжения и индуктивности обмотки. Скорость срабатывания возрастает при снижении активного сопротивления

цепи, при этом увеличивается установившийся ток  $I_y$ . Однако при уменьшении активного сопротивления обмотки увеличивается потребляемая мощность  $P$ :

$$P = U^2 / R, \tag{3.10}$$

что способствует увеличению размеров катушки, магнитопровода и самого аппарата, следовательно, повышается расход материалов.

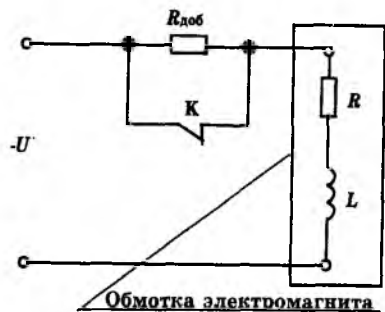


Рис. 3.7. Схема включения обмотки с форсировкой

способствует быстрому увеличению тока до тока трогания якоря. Якорь начинает двигаться, контакт К размыкается и в цепь вводится добавочное сопротивление  $R_{доб}$ , что снижает мощность, которая выделяется в обмотке.

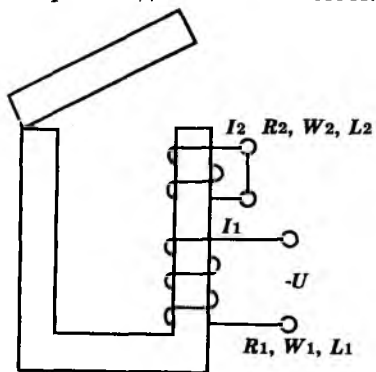


Рис. 3.8. Замедление действия электромагнита

При увеличении натяжения противодействующей пружины возрастает ток трогания  $i_{тр}$ , следовательно, увеличивается и время трогания  $t_{тр}$ .

Время отпущания электромагнита состоит из времени снижения потока до потока отпущания, при котором сила тяги электромагнита становится равной противодействующей силе, и времени движения при отпущании. Якорь и подвижные части аппарата движутся равноускоренно под действием силы, равной средней силе пружин.

Для создания электромагнитов замедленного действия используется короткозамкнутая обмотка или медная гильза (рис. 3.8). При подаче напряжения на обмотку увеличивается поток в магнитной цепи. Он наводит ЭДС в короткозамкнутой обмотке. Электродвижущая сила вызывает ток такого направления, при котором поток короткозамкнутой обмотки направлен навстречу намагничивающему потоку и результирующий поток увеличивается медленнее, что обеспечивает замедление срабатывания электромагнита.

### 3.2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ АППАРАТОВ

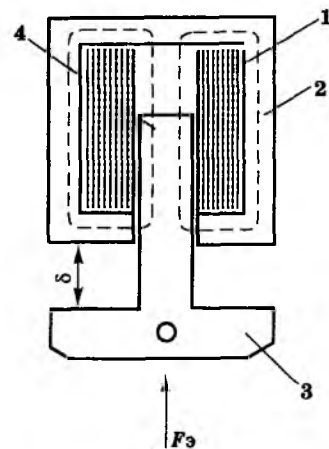


Рис. 3.9. Втягивающий электромагнит

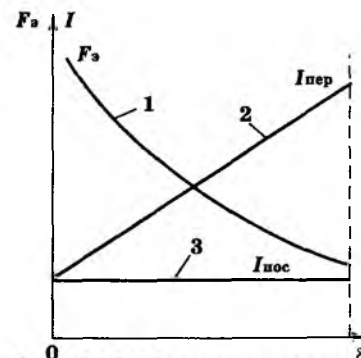


Рис. 3.10. Характеристики электромагнита

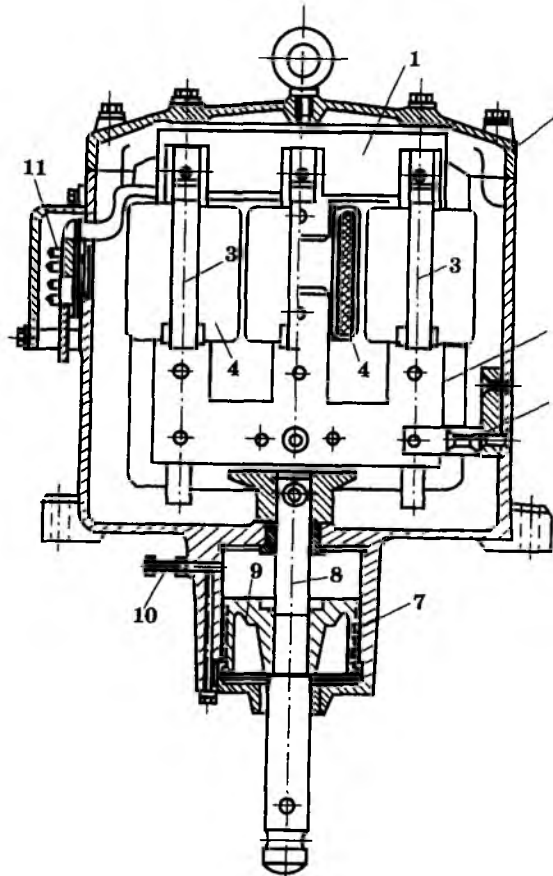
Электромагниты предназначены для преобразования магнитной энергии в механическую. Они используются для управления различными устройствами и механизмами как элемент привода аппаратов магнитных пускателей, контакторов, реле, как устройство, создающее силы при торможении движущихся механизмов, для удержания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

Принцип действия втягивающих электромагнитов (рис. 3.9) заключается в следующем. Постоянный или переменный ток, проходя по катушке 1, создает магнитный поток, который замыкается через сердечник 2 и якорь 3. Под воздействием магнитного поля сердечника на якорь последний втягивается в катушку и усилие  $F_z$ , с которым он будет втягиваться, увеличивается с уменьшением зазора  $\delta$  между якорем и сердечником. При  $\delta=0$  усилие  $F_z$  достигает максимального значения. Ток в обмотке электромагнитов по-



стоянного тока остается неизменным, так как он зависит только от активного сопротивления обмотки и напряжения питающей сети, которое не зависит от величины воздушного зазора — характеристика 3 (рис. 3.10).

В электромагнитах переменного тока сила тока с уменьшением зазора  $\delta$  снижается, что видно по характеристике 2 (рис. 3.10). Это объясняется тем, что при наименьшем зазоре  $\delta$  индуктивность обмотки, зависящая от величины зазора, будет максимальной. Ток, который определяется активным и индуктивным сопротивлениями, будет минимальным.



Важнейшей характеристикой электромагнита является механическая (тяговая) характеристика 1 (рис. 3.10), которая представляет собой зависимость усилия, развиваемого электромагнитом  $F_3$ , от величины воздушного зазора  $\delta$ .

Вид механической характеристики определяется главным образом конструкцией электромагнита; характером изменения зазора  $\delta$ ; жесткостью противодействующей пружины; геометрией магнитной системы.

Электромагниты переменного тока выпускают открытыми и закрытыми, они бывают тянущего и толкающего типа, однофазного и трехфазного тока для длительного и повторно-кратковременного режима работы. Тяговое усилие составляет

Рис. 3.11. Длинноходовой втягивающий электромагнит типа КМТ

15...250 Н с максимальной длиной хода якоря до 50 мм. В зависимости от тягового усилия масса электромагнитов равняется 1...15 кг.

На рис. 3.11 показана конструкция длинноходового втягивающего электромагнита трехфазного тока типа КМТ. Магнитная система его сходна с системой сердечника трехфазного трансформатора. В корпусе 2 находится магнитопрод, который состоит из неподвижного ярма 1, закрепленного в верхней части корпуса, и якоря 5. Ярмо и якорь имеют три сердечника. На сердечниках ярма размещены катушки 4, закрепленные держателями 3. Катушки подключены к сети зажимами 11.

Когда ток проходит через катушки, сердечники якоря притягиваются к сердечникам ярма и перемещаются в направляющих 6. К нижнему концу якоря шарнирно прикреплен шток 8. Для смягчения ударов при включении и отключении электромагнита используется демпфирующее устройство, которое состоит из поршня 9, установленного на штоке 8, воздушного цилиндра 7 и регулировочного винта 10.

В момент включения электромагнита возникает ток, который в 10...20 раз больше тока, соответствующего притянутому сердечнику, поэтому допустимое количество включений за 1 ч ограничивается 150 при ПВ=25%. Тяговое усилие этих электромагнитов зависит от их типа и составляет 350...1400 Н, а максимальный ход якоря равняется 30...80 мм.

Электромагниты постоянного тока изготавливают с катушками последовательного и параллельного включения. Электромагниты серии МП выпускают в расчете на напряжение 110 и 220 В с ходом якоря до 40 мм и тяговым усилием 250...2500 Н при работе в повторно-кратковременном режиме с ПВ=25%. Эти электромагниты имеют круто возрастающую характеристику тягового усилия.

Электромагниты серии КМП являются длинноходовыми (ход якоря составляет от 40 до 120 мм), тяговое усилие равняется 115...1000 Н при ПВ=25%. В отличие от электромагнитов серии МП они имеют жесткую характеристику тягового усилия и работают в вертикальном положении.

Электромагниты серии ВМ отличаются от электромагнитов КМП тем, что они защищены от попадания в них влаги.

Для прямолинейного перемещения элементов управления станков и других механизмов производятся специальные электромагниты переменного тока серий МИС и МИС-Е защищенного и открытого исполнения с тяговым усилием 10...300 Н, массой 0,6...12 кг и ходом якоря 5...40 мм.

Для управления гидро- и пневмоаппаратами используют электромагниты серии МТ (маслонаполненные) с тяговым усилием 10...40 Н, массой 0,9...2,45 кг, длиной хода якоря 1...15 мм. Допустимое количество циклов — 600...2400 в час; номинальное тяговое усилие составляет 4, 6, 10, 16, 25, 40, 63, 100 и 160 Н; степень защиты IP00, IP20, IP65; напряжение питания 24, 110, 380 В.

Длинноходовые электромагнитные серии ЭД однофазного переменного тока напряжением до 380 В тянущего и толкающего исполнений имеют номинальное усилие 4...160 Н; ПВ — 15, 40, 100 %; допустимое количество циклов — 150, 600, 1200, 2400 в час; максимальный ход якоря — 10, 15, 25, 30 мм, степень защиты — IP00, IP65.

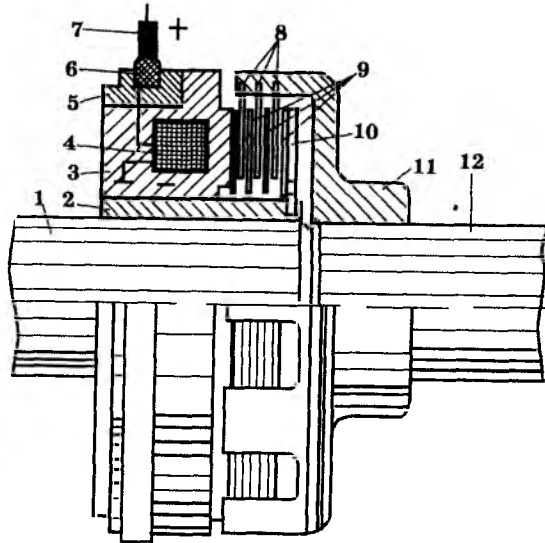


Рис. 3.12. Электромагнитная муфта типа ЭТМ

Электромагнитная муфта нормального исполнения (рис. 3.12) состоит из корпуса 3, внутри которого находится катушка 4, пакет фрикционных дисков 8 и 9, нажимного диска 10, поводка 11. Эти части муфты объединены втулкой 2, изготовленной из немагнитного материала. На корпусе 3 закреплено кольцо из изоляционного материала 5, в которое запрессовано контактное кольцо 6, соединенное с одним концом катушки. Второй конец катушки присоединен к корпусу станка. Ток к кольцу подводится через контактную щетку 7.

При подаче напряжения на катушку возникает магнитное поле, которое, замыкаясь через фрикционные диски, создает усилие, притягивающее нажимной диск 10 к корпусу 3. Фрикционные диски 8, 9 при этом сцепляются. Два вала соединяются между собой за счет того, что диски 8 связаны с входным валом 1 через втулку 2, а диски 9 — с выходным валом 12 через поводок 11. После отключения катушки нажимной диск под действием пружинящих фрикционов отталкивается и валы расцепляются.

В отличие от муфт нормального исполнения у быстродействующих муфт фрикционные диски находятся за пределами маг-

Электромагнитные муфты используются в станкостроении для переключения кинематических цепей в передачах вращательного движения, например в коробках скоростей и передачах, а также для пуска, реверсирования и торможения приводов станков. Широкое распространение получили электромагнитные многодисковые муфты типа ЭТМ, которые подразделяются на муфты нормального исполнения и быстродействующая

нитной системы. Якорь расположен перед фрикционными дисками, и весь магнитный поток замыкается через него. Материал магнитопровода имеет малые потери на размагничивание, а катушка муфты допускает форсировку возбуждения. Фрикционные диски быстродействующих муфт имеют покрытия из металлокерамики, которая вместе со сталью дает высокий коэффициент трения. Все это позволяет уменьшить время срабатывания муфты.

Муфты типа ЭТМ могут быть контактного (рис. 3.13, а) и бесконтактного (рис. 3.13, б) исполнения.

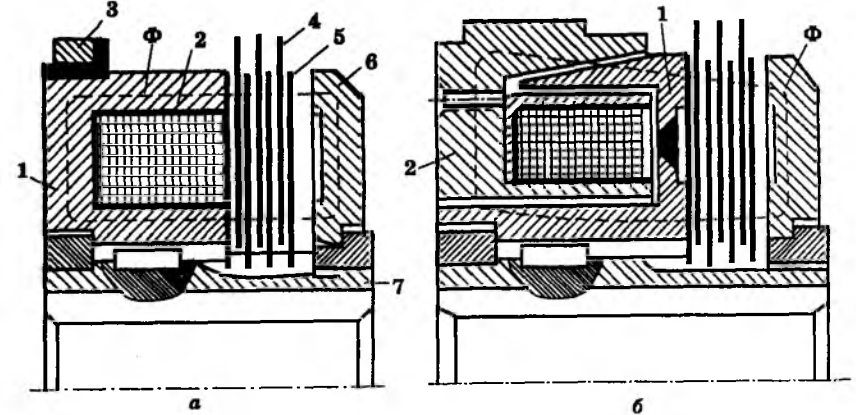


Рис. 3.13. Электромагнитная муфта:

а — контактного исполнения; б — бесконтактного исполнения

Муфты с контактным токопроводом отличаются невысокой надежностью из-за наличия скользящего контакта, поэтому в наиболее ответственных приводах используют муфты с неподвижным токопроводом. Они имеют дополнительные воздушные зазоры.

Муфта контактного исполнения состоит из корпуса 1 с катушкой 2 и токопроводящим кольцом 3, пакета фрикционных магнитопроводящих дисков 4, 5, работающих со смазкой, якоря 6 и общей втулки 7. Внутренние диски 4 расположены на эвольвентных втулках 7, наружные диски 5 имеют пары для зацепления с поводком. При подаче напряжения на катушку 2 рабочий поток замыкается по контуру Ф. Якорь и пакет дисков притягиваются к полюсам корпуса 1, и между сжатыми дисками устанавливается фрикционное сцепление. Момент передается по цепи: втулка — внутренние диски — наружные диски — поводок. Расцепление фрикционного пакета при отключении муфты обеспечивается упругими наружными дисками. Ток подводится с помощью щеткодержателя.

Муфты бесконтактного исполнения отличаются наличием составного магнитопровода, образуемого корпусом 1 и катушкодержателем 2, которые разделены так называемыми балластными зазорами. Катушкодержатель смонтирован неподвижно, при этом исключаются элементы контактного токопровода. За счет зазора снижается теплопередача от фрикционных дисков к катушке, что повышает надежность муфты в тяжелых режимах работы.

Кроме электромагнитных сцепных муфт используются электромагнитные муфты скольжения и порошковые муфты.

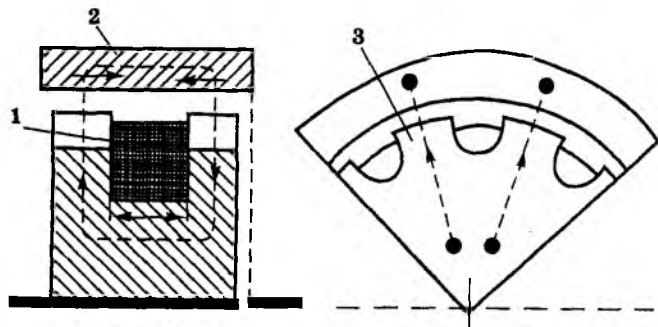


Рис. 3.14. Электромагнитная муфта скольжения

Электромагнитная муфта скольжения (рис. 3.14) состоит из якоря 2 и индуктора 3 с катушкой возбуждения 1. При вращении индуктора и подаче напряжения на катушку возникает магнитный поток, замыкающийся через зубья в радиальном направлении и якорь. Этот поток индуцирует в якоре вихревые токи. При взаимодействии магнитного потока и индуцированных вихревых токов в якоре возникает вращающий момент. Якорь начинает вращаться, но частота его вращения будет меньше частоты электродвигателей, ротор отстает от магнитного поля статора. Изменяя ток возбуждения катушки индуктора, можно изменять частоту вращения якоря, т.е. ведомого вала.

Электромагнитные муфты скольжения имеют ряд недостатков: низкий коэффициент полезного действия при малых скоростях, малый передаваемый момент, низкая надежность при резком изменении нагрузки и значительная инертность.

У электромагнитных порошковых муфт соединение между ведущей и ведомой частями осуществляется за счет повышения вязкости смесей, заполняющих зазор между поверхностями сцепления муфт при увеличении магнитного потока в этом зазоре. Главным компонентом таких смесей являются ферромагнитные порошки, например карбонильное железо. Для устранения механического разрушения частиц железа из-за сил трения или их слипания добавляют специальные наполнители. Они могут быть

жидкими (синтетические жидкости, индустриальные масла) или сыпучими (оксиды цинка или магния, кварцевый порошок). Такие муфты обладают высокой скоростью срабатывания, однако эксплуатационная надежность их является недостаточной для широкого применения в станкостроении.

**Электромагнитные тормозные устройства.** Тормозные устройства предназначены для фиксации положения механизма при отключенном электродвигателе, например для сокращения выбега при остановке механизма передвижения или удержания груза в поднятом состоянии на грузоподъемных кранах и подъемниках. Для этих целей используются колодочные, дисковые и ленточные тормозные устройства, которые затормаживают механизм при отключении приводного электродвигателя. При включении электродвигателя вал механизма растормаживается тормозными электромагнитами, электрогидравлическими толкателями или специальными двигателями.

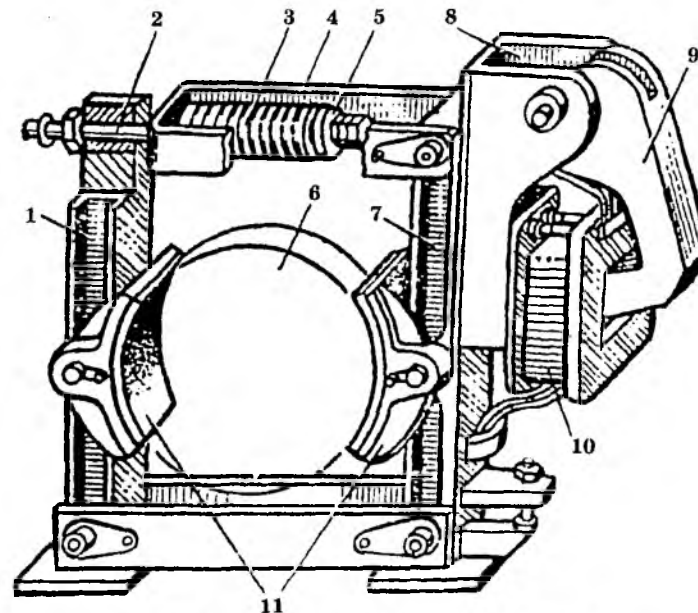


Рис. 3.15. Электромагнитный тормоз

Схема устройства электромагнитного тормоза показана на рис. 3.15. Тормозной шкив 6, укрепленный на валу электродвигателя, охватывает тормозные колодки 11, которые находятся на рычагах 1, 7. На рычаге 7 жестко закреплен магнитопровод 8 электромагнита. При отключенной катушке 10 электромагнита разжимающая пружина 3, которая расположена на стержне 2,

одним концом оказывает давление на упорную шайбу 5 стержня, а другим — на скобу 4, шарнирно соединенную с рычагом 7. Верхние концы рычагов 1, 7 стягиваются, а тормозные колодки сжимают шкив. При включении двигателя получает питание и катушка электромагнита. Его якорь 9 поворачивается и сдвигает стержень 2. Пружина 3 сжимается, вследствие чего рычаги 1, 7 разводятся, а следовательно, и тормозные колодки 11 и освобождают шкив 6.

Тормозные электромагниты отличаются рабочим напряжением, относительной продолжительностью включения (ПВ) катушки, ходом подвижной части — якоря, тяговым усилием (или моментом), допустимым включением в час.

В зависимости от хода якоря тормозные электромагниты разделяются на длинноходовые, имеющие ход якоря до нескольких десятков миллиметров и развивающие относительно малое тяговое усилие, и короткоходовые, которые развивают сравнительно большое тяговое усилие при малом ходе якоря (доли или единицы миллиметра).

**Электрогидротолкатели.** Недостатками тормозных электромагнитов являются резкое включение, вызывающее удар якоря о магнитопровод, большие броски тока включения у электромагнитов переменного тока, возможность перекоса рычагов. Электрогидротолкатели лишены этих недостатков, поэтому они получили широкое распространение в тормозных устройствах кранов. Они отличаются высокой надежностью в процессе эксплуатации, позволяют регулировать быстродействие и плавность торможения, могут создавать значительные тормозные моменты, ими легко управлять.

Электрогидравлический толкатель типа ТГ (рис. 3.16) состоит из корпуса 1, внутри которого в нижней части находится лопастный масляный гидронасос. Он приводится в действие асинхронным электродвигателем 7 с короткозамкнутым ротором. В верхней внутренней части корпуса 1 расположен поршень со штоком 6. При включении электродвигателя насос перекачивает масло из нижней полости корпуса 1 под поршень. Поршень движется вверх, и его шток поворачивает рычаг 5, который, преодолев усилие пружины 2, через систему тяг разводит рычаги 3 и 4 с тормозными колодками. При отключении электродвигателя насос останавливается, поршень со штоком опускается вниз, и пружина 2 вновь зажимает тормозные колодки.

Для привода тормозов используются электрогидравлические толкатели типа ТГ-50, ТГ-80, ТГ-160 с рабочим усилием 500, 800, 1600 Н, а также толкатели ТЭГ-16, ТЭГ-25, ТГМ-50 и ТГМ-80 с рабочим усилием 160, 250, 500 и 800 Н. Количество включений равняется 700...2000. Время срабатывания электрогидротолкателей составляет 0,6—1,5 с.

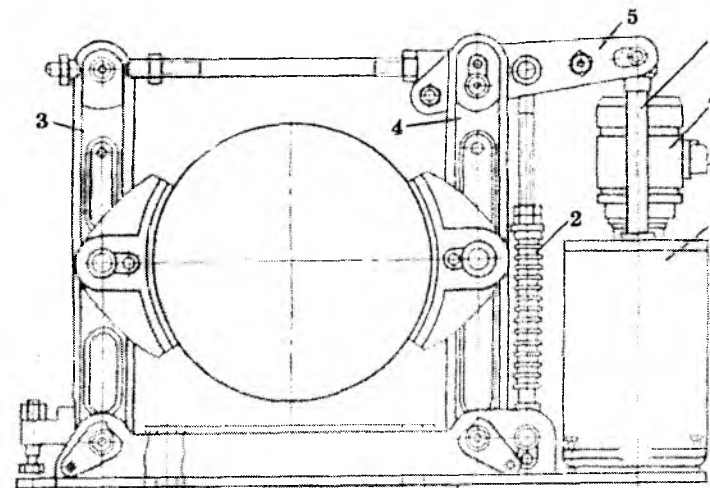


Рис. 3.16. Электрогидравлический толкатель типа ТГ

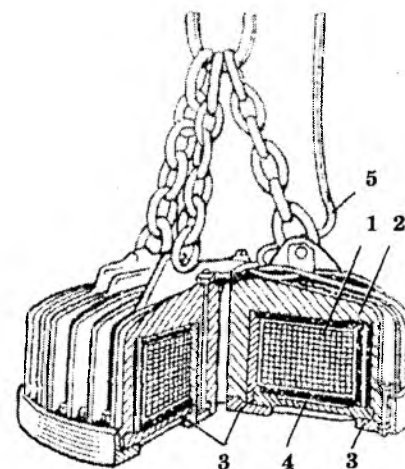


Рис. 3.17. Грузоподъемный электромагнит типа М-42

**Грузоподъемные электромагниты.** Использование грузоподъемных электромагнитов позволяет облегчить и сократить погрузку-разгрузку ферромагнитных материалов при транспортировке. Электромагнит типа М-42 (рис. 3.17) имеет стальной корпус 2, внутри которого находится катушка 1, залитая компаундной массой. К корпусу болтами крепятся полюсные башмаки 3. Снизу катушка защищена кольцами 4 из немагнитного материала. Ток подводится с помощью гибкого кабеля 5, который в процессе работы автоматически наматывается на кабельный барабан при подъеме и сматывается при спуске.

Электромагнит подвешивают к крюку грузоподъемного механизма цепями, им управляют из кабины крана.

**Реле.** Электрическим реле называется коммутационное устройство, предназначенное для осуществления скачкообразных изменений в управляемых цепях при заданном значении электрических воздействующих величин. Под воздействующей входной величиной понимают электрическую величину, подаваемую в электрическую цепь управления реле.

Реле имеет в общем случае следующие составные части:

— воспринимающая часть воспринимает входные воздействующие величины (ток, напряжение) и превращает их в удобные для дальнейшего преобразования;

— преобразующая часть предназначена для преобразования рода тока, характера изменения во времени электрических величин или вида энергии в удобный для сравнения вид;

— сравнивающая часть осуществляет сравнение преобразованных величин и обеспечивает дискретную величину на выходе;

— исполнительная часть обеспечивает скачкообразные изменения состояния управляемых электрических цепей;

— замедляющая часть обеспечивает необходимую выдержку времени;

— регулирующая часть предназначена для регулирования уставки.

Реле составляют многочисленную группу электрических аппаратов, применяемых для управления, сигнализации, защиты систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, агропромышленного комплекса в системах управления электроприводами станков, механизмов, машин.

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

Реле подразделяются по роду тока — постоянного и переменного. По принципу воздействия на управляемую цепь различают контактные и бесконтактные реле.

Контактные реле своими контактами коммутируют электрическую цепь, бесконтактные — при срабатывании резко изменяют свое сопротивление, включенное в управляемую цепь. До тех пор пока бесконтактное реле не сработает, его сопротивление очень велико и ток в цепи управления не протекает. При срабатывании бесконтактного реле его сопротивление резко снижается и ток в цепи управления скачкообразно изменяется.

К реле предъявляются требования, наиболее важными из которых являются надежность срабатывания при изменении питающего напряжения в диапазоне  $85...110\% U_{ном}$ , высокая механическая и электрическая износоустойчивость.

Действие реле основано на электромагнитном, магнитоэлектрическом, индукционном принципах.

**Электромагнитное реле.** На рис. 3.18 показана конструкция электромагнитного реле. Контактная система реле состоит из неподвижных контактов 2, зафиксированных в пластмассовом основании 1, и подвижных контактов на плоских пружинах 3, которые закреплены 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. Реле подключается к внешним электрическим цепям с помощью выводов 10.

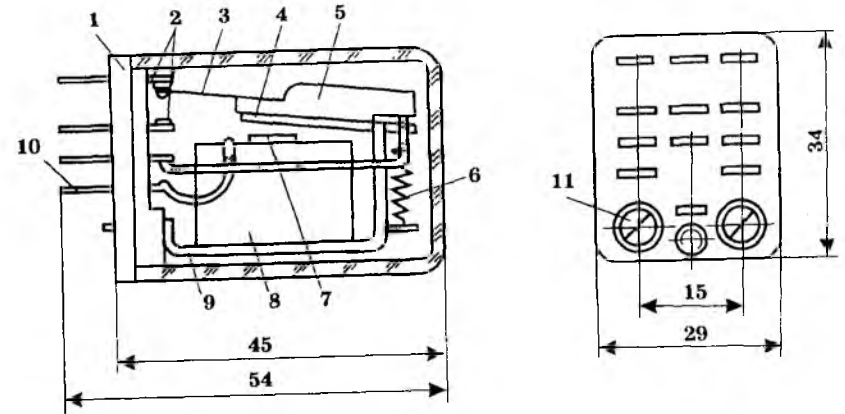


Рис. 3.18. Конструкция электромагнитного реле

Реле работает следующим образом. При подаче напряжения на катушку якорь реле под действием электромагнитных сил притягивается к сердечнику, изменяя коммутационное состояние контактов. При отключении напряжения в цепи катушки якорь под действием пружины 6 и плоских пружин замыкающих контактов возвращается в исходное положение, контакты принимают первоначальное положение.

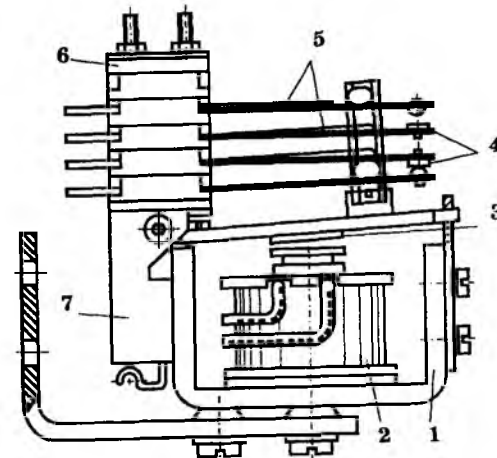


Рис. 3.19. Электромагнитное реле серии РПУ

Реле различаются принципом действия и конструктивным исполнением.

Конструкция реле постоянного тока серии РПУ показана на рис. 3.19. Реле состоит из П-образной магнитной скобы 1, цилиндрической катушки 2 с круглым сердечником, пластинчатых контактных пружин 5 с серебряными контактами 4, изоляционной траверсы 6 для крепления контактных пружин и возвратной пружины.

Якорь электромагнита имеет накладку 3 из немагнитного материала, которая предотвращает «залипание» якоря.

Большое распространение в системах автоматики станков, механизмов и машин получили электромагнитные реле постоянного тока серии РЭС-6 (рис. 3.20) в качестве промежуточного реле напряжением 80...300 В, коммутируемый ток 0,1...3 А. Реле серии РЭВ 310 используются в качестве реле тока и напряжения. Они изготавливаются с катушками на напряжение 12...220 В и могут иметь от одного до четырех контактов. Реле серии РЭВ 800 используются в качестве реле тока, напряжения, времени и промежуточных. В качестве промежуточных применяются также реле серий РП-250, РП-321, РП-341, РП-42 и ряд других, которые могут использоваться и как реле напряжения.

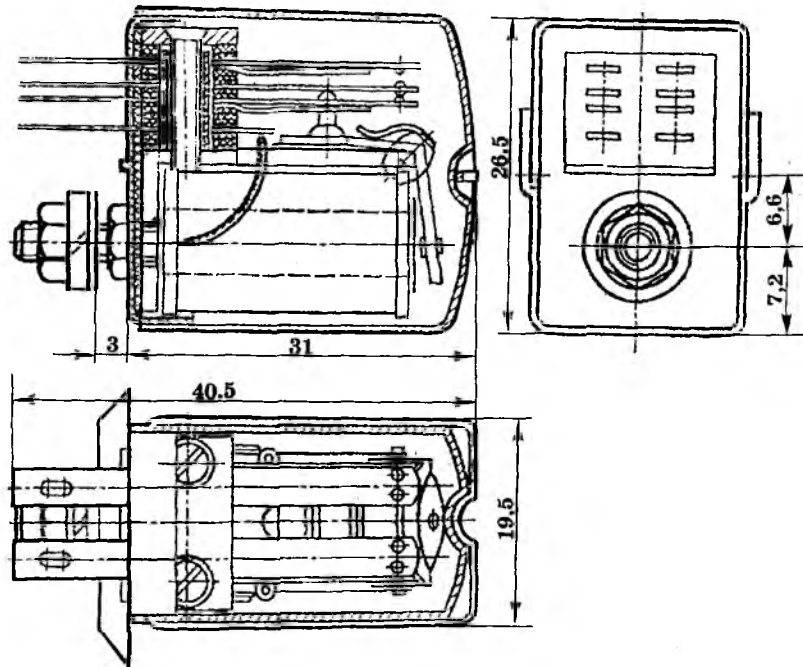


Рис. 3.20. Реле серии РЭС-6

Электромагнитное реле переменного тока серии РПЛ, схема которого показана на рис. 3.21, состоит из катушки 2, намотанной на неподвижный сердечник 3; подвижной системы, включающей якорь 4, контактную траверсу 6 и контакты 8, 10; пружины 12, удерживающей подвижную систему в исходном состоянии; корпуса 13, в который встроены неподвижные контакты 5, 7, 9, 11 и выводы 1, 14 обмотки катушки реле.

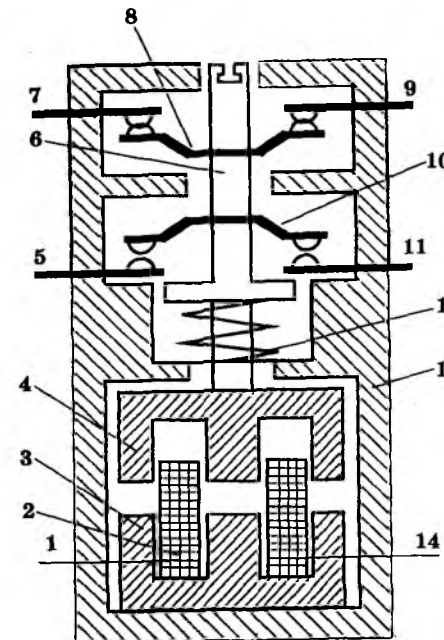


Рис. 3.21. Электромагнитное реле переменного тока серии РПЛ

При приложении напряжения к выводам 1, 14 катушки 2 по ней проходит ток, а якорь 4 под действием электромагнитных сил перемещается вниз, вовлекая в движение траверсу 6 с закрепленными на ней контактами 8, 10. При этом размыкается цепь между контактами 7, 9, которая в исходном состоянии была замкнута, и замыкается между контактами 5, 11. После снятия напряжения с обмотки катушки реле подвижная система под действием пружины 12 возвращается в исходное состояние: замыкается цепь контактов 7, 9 и размыкается цепь контактов 5, 11. В зависимости от конструкции реле может иметь различное количество замыкающих и размыкающих контактов.

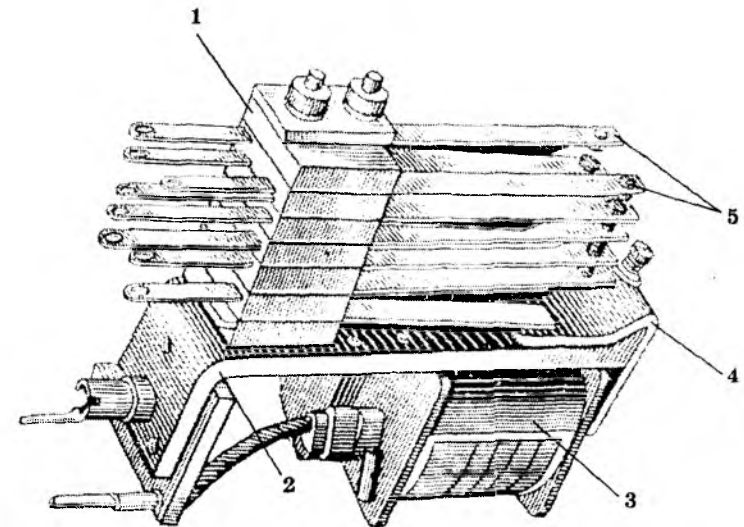


Рис. 3.22. Реле серии РЭН-20

Реле переменного тока серии РЭН-20 (рис. 3.22) состоит из корпуса 1, Г-образного сердечника 2, катушки 3, якоря 4 и контактной системы 5. Сердечник шихтованный, т.е. изготовлен из листов электротехнической стали. Реле рассчитано на номинальное напряжение до 250 В и коммутируемый ток до 5 А.

*Поляризованное поле* является наиболее чувствительным из всех типов реле. На его работу оказывает влияние полярность питающего напряжения. Постоянный магнит или электромагнитный элемент имеет специальную обмотку (обмотку возбуждения) (рис. 3.23). Если стальной поворотный якорь расположить между двумя постоянными магнитами, на которых имеются обмотки возбуждения постоянного тока, и удерживать его пружинами в нейтральном положении, то магнитный поток, создаваемый в воздушных зазорах, будет зависеть от направления тока в обмотках. В одном из зазоров магнитные потоки постоянного магнита и обмотки вычитаются, а в другом складываются. В результате этого якорь будет притягиваться к полюсу с большим магнитным потоком. Таким образом, направление перемещения якоря зависит от полярности входного сигнала.

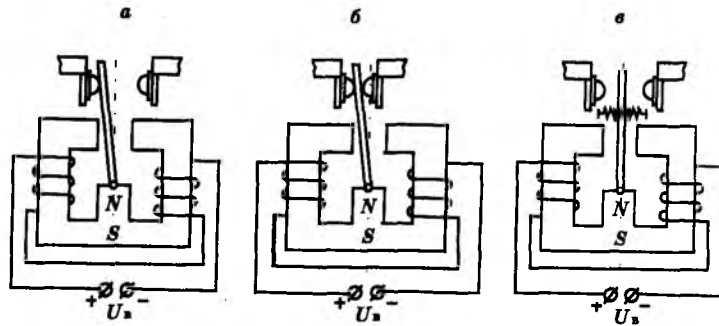


Рис. 3.23. Настройка контактов поляризованного реле:  
а — нейтральная; б — со смещением относительно

Неподвижные контакты поляризованных реле могут иметь различную настройку: нейтральную (рис. 3.23, а), со смещением относительно нейтрального положения (рис. 3.23, б) и трехпозиционную (рис. 3.23, в). При включении поляризованного реле, имеющего нейтральную настройку контактов, якорь реле перемещается из одного крайнего положения в другое и при отключении реле не возвращается в исходное положение. Для возвращения реле необходимо подать на обмотку возбуждения напряжение обратной полярности. Нейтральную настройку имеют реле серии РП-4.

Настройкой контактов с преобладанием называют такое взаимное положение контактов, при котором они расположены по одну сторону от нейтрального положения. При такой настройке левый зазор между якорем и полюсами магнита всегда меньше правого зазора. Следовательно, магнитный поток в левом зазоре больше магнитного потока в правом зазоре. При отключении обмотки возбуждения якорь реле возвращается в исходное положение. Настройку контактов со смещением имеют реле серии РП-7.

Трехпозиционной настройкой контактов называют такую, при которой контакты реле расположены симметрично относительно якоря, удерживаемого пружинами в нейтральном положении. В зависимости от полярности входного напряжения якорь реле замыкает правый или левый контакты. При отключении входного сигнала якорь под действием пружин возвращается в исходное положение. Трехпозиционную настройку имеют реле серии РП-5.

**Электромагнитные контакторы** — это двухпозиционные аппараты с самовозвратом дистанционного управления, которые предназначены для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальных режимах работы.

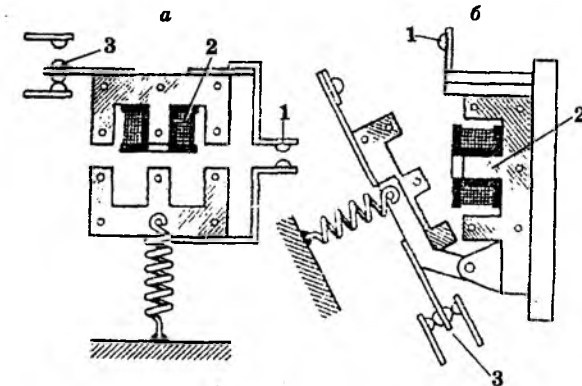


Рис. 3.24. Конструкция контактора:  
а — с прямоходовой подвижной магнитной системой;  
б — с поворотным якорем

Контакторы изготавливают в расчете на токи коммутации 4...4000 А, напряжение 220, 440, 750 В постоянного тока и 380, 660, 1140 В переменного тока. Они допускают до 1400 включений в час.

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

Основные технические характеристики: номинальный ток главных контактов  $I_{ном}$ ; предельный отключаемый ток (ток коммутации)  $I_k$ ; номинальное напряжение коммутируемой цепи  $U_{ном}$ ; допустимое число включений в час; собственное время включения и отключения.

Контакторы имеют основные узлы: главные контакты 1, электромагнитный механизм 2, вспомогательные контакты 3 (рис. 3.24).

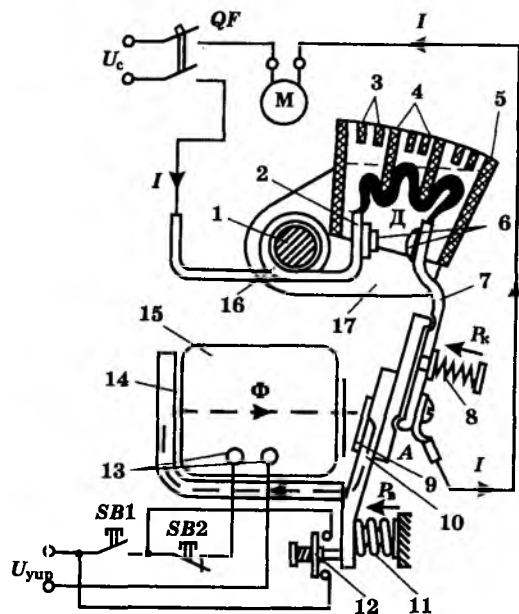


Рис. 3.25. Схема включения электродвигателя с помощью контактора постоянного тока

оксидную пленку на поверхности контактов. Одновременно с главными контактами замыкаются и вспомогательные контакты 12, которые блокируют (шунтируют) контакты кнопки SB1, в результате воздействие на кнопку можно снять. Нажатие в контактах создается пружиной 8.

На якоре 10 установлена прокладка из немагнитного материала латуни 9, которая уменьшает силу притяжения, обусловленную остаточной индукцией в сердечнике, т.е. при снятии напряжения с катушки 15 якорь сразу отходит (не «залипает»).

На рис. 3.25 показана принципиальная схема включения электродвигателя с помощью электромагнитного контактора постоянного тока. В исходном отключенном положении, когда напряжение с катушки 15 снято, подвижная система под действием пружины 11 находится в нормальном положении. Контактор включают путем нажатия кнопки SB1. В катушке создается магнитный поток, притягивающий якорь 10 к сердечнику 14. На якоре укреплен подвижный контакт 7, который после соприкосновения с неподвижным контактом 2 скользит по его поверхности, разрушая

Отключение контактора производится нажатием кнопки SB2. При этом разрывается цепь питания катушки 15. Дуга, возникшая между главными силовыми контактами 2 и 7, гасится в дугогасительной камере 5 с изоляционными перегородками 4. Дуга втягивается в камеру за счет магнитного поля, созданного магнитной системой, которая состоит из катушки 16, включенной последовательно в главную цепь стального сердечника 1, и полюсных наконечников 17. На выходе из камеры установлена пламегасительная решетка 3, препятствующая выходу ионизированных газов за пределы камеры.

Для управления электродвигателями большой мощности используются контакторы переменного тока КТ, КТП, КТВ; постоянного тока КП, КПВ, КПД.

Важными параметрами для контакторов переменного и постоянного тока являются собственное время включения  $t_B$ , собственное время отключения  $t_{откл}$  и коэффициент возврата  $K_B$ , который определяется по формуле

$$K_B = U_{отп} / U_{срб},$$

где  $U_{отп}$  — наибольшее напряжение, при котором происходит отпускание якоря с уменьшением напряжения, подаваемого на катушку, В;  $U_{срб}$  — наименьшее напряжение, при котором якорь притягивается к полюсам электромагнита, В.

Наибольшее напряжение на катушке не должно превышать 110 %  $U_{ном}$ , так как при большем напряжении повышается износ контактов из-за усилия ударов якоря. Кроме того, температура нагрева обмотки может превысить допустимые значения. Электромагниты контакторов должны обеспечивать надежную работу при колебаниях напряжения в диапазоне 85...110 %  $U_{ном}$  [1].

Для управления трехфазными электродвигателями переменного тока широко используются контакторы поворотного типа серии КТ6000 со щелевыми дугогасительными камерами и магнитным дутьем, а также КТ7000 с дугогасительными решетками для тяжелых режимов работы в цепях переменного тока. На рис. 3.26 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.



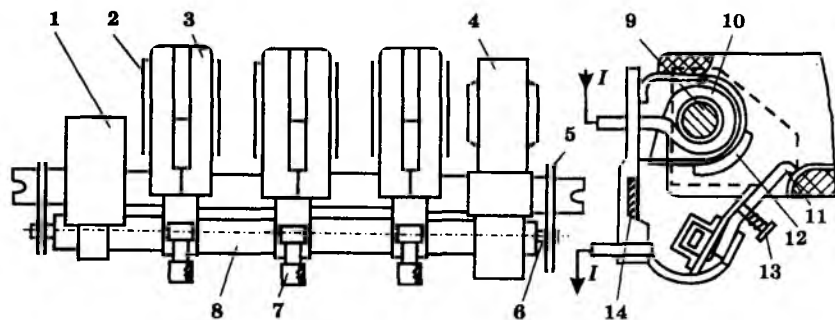


Рис. 3.26. Конструкция трехполюсного контактора переменного тока серии КТ

Технические данные контакторов приведены в прил. 1 (табл. 5).

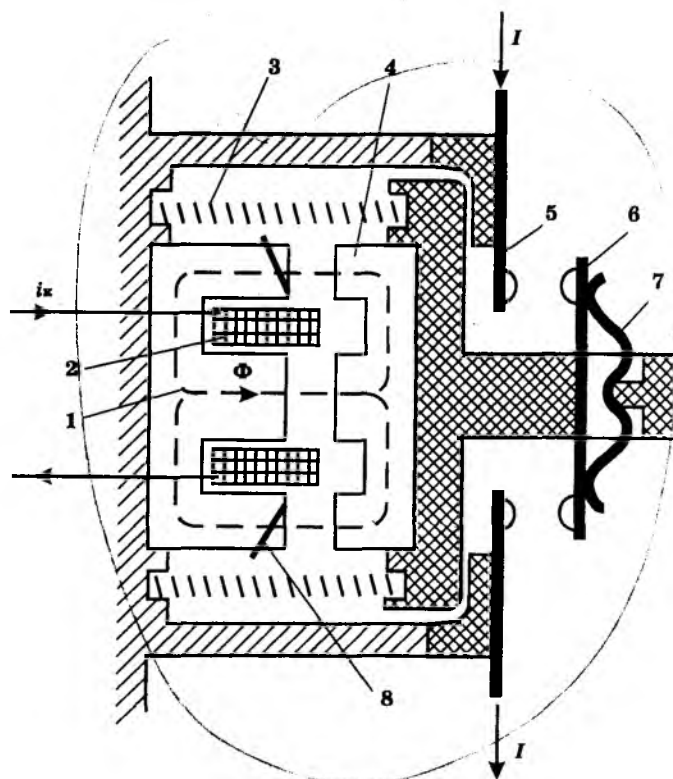


Рис. 3.27. Электромагнитный пускатель с прямоходовой подвижной системой

**Электромагнитный пускатель** — это коммутационный аппарат, который предназначен для управления и защиты электродвигателей переменного тока и разработан на базе контакторов.

Для управления асинхронными электродвигателями небольшой мощности используются магнитные пускатели с прямоходовой подвижной системой (рис. 3.27). Магнитопровод 1 с обмоткой управления 2 неподвижно закреплен в корпусе аппарата. При прохождении тока  $i_k$  по обмотке управления в магнитной системе создается магнитный поток  $\Phi$ , под действием которого якорь 4, преодолевая силу сжатия пружины 3, притягивается к неподвижному магнитопроводу. Связанные с якорем подвижные контакты 6 замыкаются с неподвижными 5, и в коммутируемой цепи пойдет ток  $I$ . Нажатие в контактах создается плоской пружиной 7. При отключении питания катушки управления магнитное поле уменьшается, и под действием пружины 3 якорь перемещается в крайнее правое положение, а коммутируемые контакты размыкаются.

Для уменьшения вибрации магнитной системы сердечник контактора снабжен короткозамкнутыми витками 8, охватывающими примерно треть площади сердечника. Ток, индуцированный в короткозамкнутом витке, создает магнитный поток, сдвинутый по отношению к основному потоку катушки. Каждый поток создает свою силу тяги, пропорциональную квадрату магнитного потока, и результирующая сила тяги не будет иметь нулевых значений [2].

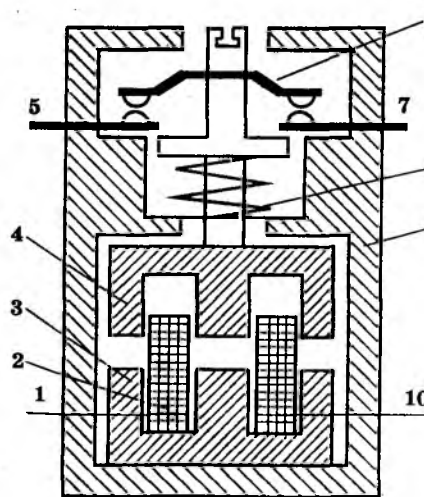


Рис. 3.28. Конструкция электромагнитного пускателя серии ПМЛ

Электромагнитные пускатели с прямоходовой подвижной системой серии ПМЕ и сменившие их пускатели серии ПМЛ (рис. 3.28) широко используются при управлении электродвигателями станков, механизмов и машин. Пускатели серии ПМЛ (рис. 3.29, а) с помощью специальных приставок (рис. 3.29, б—г) выполняют различные функции.

Контактная приставка (рис. 3.29, б) состоит из четырех контактов мгновенного действия, которые могут иметь различные исполнения в зависимости от количества вида контактов замыкающих и размыкающих. Прямоходовая траверса приставки, соединенная с траверсой пускателя, обеспечивает мгновенное замыкание и размыкание контактов.

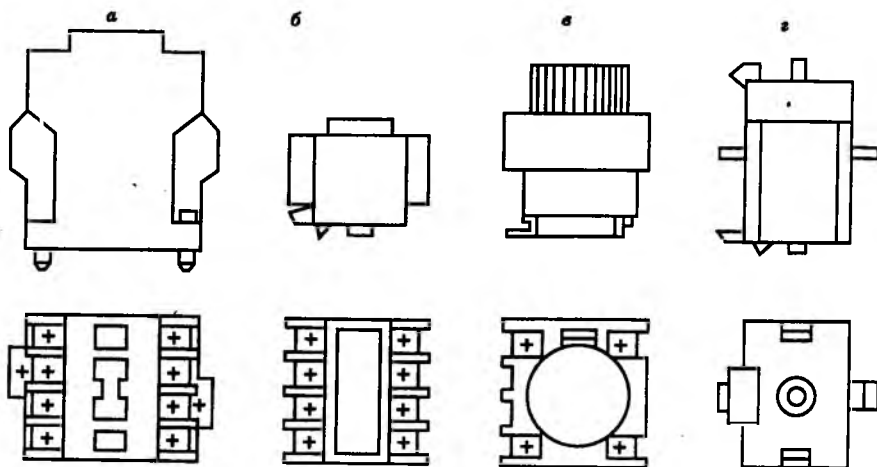


Рис. 3.29. Электромагнитный пускатель серии ПМЛ

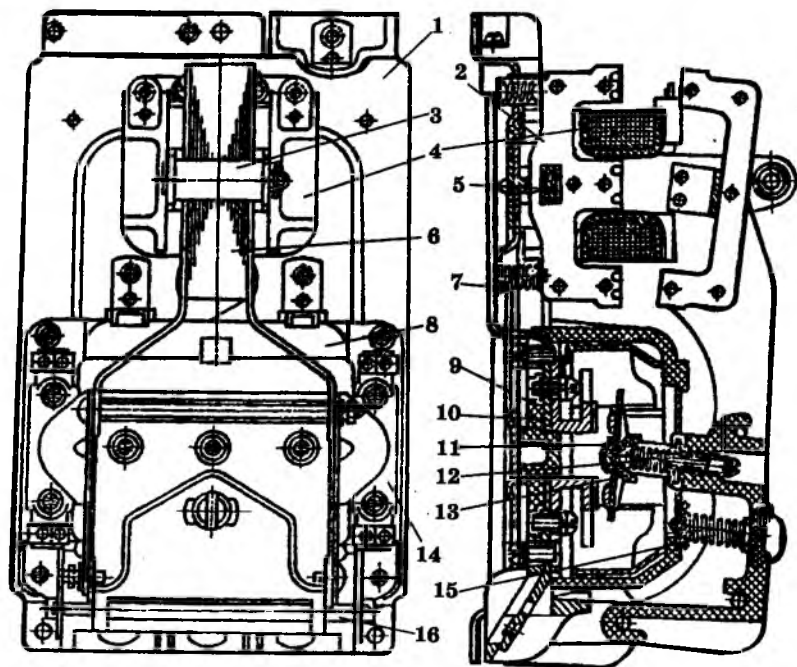


Рис. 3.30. Электромагнитный пускатель серии ПАЕ

Приставка (рис. 3.29, в) обеспечивает временную задержку срабатывания контактов, которая создается с помощью пневматического замедлителя.

Приставка памяти (рис. 3.29, г) состоит из электромагнитного привода и защелкивающего устройства. Она позволяет удерживать контактную систему во включенном положении при снятии напряжения с катушки и отключать аппарат при подаче напряжения на катушку приставки памяти.

Электромагнитные пускатели имеют различное исполнение: они бывают нереверсивными и реверсивными, с тепловым реле и без них, открытого, защищенного или пылебрызгозащищенного исполнения.

Управление асинхронными двигателями средней мощности 15...75 кВт осуществляется с помощью магнитных пускателей серии ПА, ПАЕ, ПМА, которые имеют магнитную систему поворотного типа (рис. 3.30). При подаче напряжения на катушку 4 якорь 6 поворачивается на оси 16 и притягивается к сердечнику 2, замыкая главные контакты 10 контактным мостиком 11. Одновременно с главными контактами включаются вспомогательные контакты (блок-контакты), которые находятся в блоке 14. При снятии напряжения с катушки якорь под действием возвратной пружины 15 отходит вправо. Главные контакты 10, 11 разрывают главную (силовую) цепь, возникающая при этом электрическая дуга гасится в дугогасительных камерах 8.

Технические данные электромагнитных пускателей приведены в прил. 1 (табл. 2—4).

Структура условного обозначения электромагнитных пускателей серий ПМЕ, ПАЕ, ПМЛ приведены в прил. 2.

## ГЛАВА 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ

### 4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТАХ ЗАЩИТЫ

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

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

Аппаратом защиты называется устройство, которое автоматически отключает защищаемую электрическую цепь при ненормальных режимах [1]. К аппаратам защиты относятся плавкие предохранители, автоматические выключатели, тепловые и токовые реле.

Защита электродвигателей и электрической сети осуществляется от коротких замыканий (однофазных, междуфазных) перегрузки [1]. 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 для грузоподъемных механизмов, защита от перегрузки не выполняется.

### 4.2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ

*Плавкие предохранители* — это коммутационные электрические аппараты, предназначенные для отключения защищаемой цепи разрушением специально предусмотренных для этого токоведущих частей под действием тока, который превышает определенное значение.

В плавких предохранителях отключение цепи происходит за счет расплавления плавкой вставки, которая нагревается протекающим через нее током защищаемой цепи. После отключения цепи нужно 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 в расчете на напряжение переменного тока 42, 220, 380, 660 В и постоянного тока 24, 110, 220, 440 В.

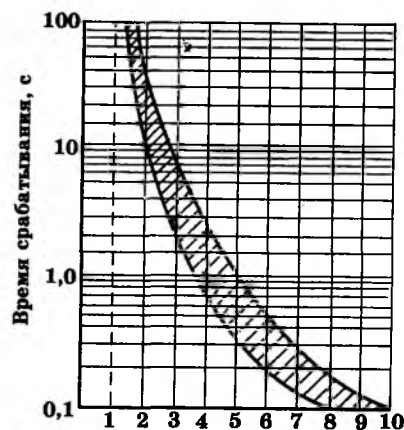
Основными элементами предохранителя являются корпус, плавкая вставка (плавкий элемент), контактная часть, дугогасительное устройство и дугогасительная среда.

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. В связи с этим предохранитель характеризуется номинальным током патрона (корпуса), который равен наибольшему из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данной конструкции предохранителя. Например, предохранители серии ПН2 и ПР2 имеют сменные плавкие вставки. Корпус предохранителя серии ПН2-100 рассчитан на ток до 100 А. В него можно вставлять сменные плавкие вставки на ток 30, 40, 50, 60, 80, 100 А.

Предохранители напряжением до 1 кВ изготавливают в расчете на номинальный ток 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 коротких замыканиях 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, используются плавкие вставки из разного материала, специальной формы, а также металлургический эффект. Наиболее распространенными материалами для плавких вставок являются медь, цинк, алюминий, свинец и серебро.



Кратность тока срабатывания по отношению к номинальному току плавкой вставки,  $K$

Рис. 4.1. Защитная характеристика предохранителей

небольшой нагрев предохранителей в продолжительном режиме. Цинк стоек к коррозии, поэтому сечение плавкой вставки не изменяется в процессе эксплуатации, защитная характеристика остается постоянной. Цинк и свинец отличаются высоким удельным сопротивлением, поэтому плавкие вставки бывают большего сечения. Такие плавкие вставки обычно применяются в предохранителях без наполнителей. Предохранители со вставками из цинка и свинца имеют большие выдержки времени при перегрузках.

Вставки, изготовленные из серебра, не окисляются, их характеристики наиболее стабильны.

Алюминиевые вставки используются в предохранителях из-за дефицита цветных металлов. Высокое сопротивление оксидных пленок на алюминии затрудняет осуществление надежного разъемного контакта. Алюминиевые вставки находят применение в новых конструкциях предохранителей серии ПП-31 [5].

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 1 мм напаять шарик из олова, то при нагреве сначала плавится оловянный шарик, так как олово имеет низкую температуру плавления ( $232\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). В месте контакта олова с медной проволокой начинается растворение меди, и сечение медной вставки уменьшается. Процесс длится до

Медные вставки подвержены окислению, их сечение со временем уменьшается, и защитная характеристика предохранителя изменяется. Для снижения окисления обычно используют луженые медные вставки. Температура плавления меди  $1083\text{ }^{\circ}\text{C}$ , поэтому при токе, близком к минимальному току плавления, температура всех элементов предохранителя значительно возрастает.

Цинк и свинец имеют низкую температуру плавления ( $419$  и  $327\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что обеспечивает

тех пор, пока медная проволока расплавится в точке, где находится оловянный шарик. Возникшая при этом дуга расплавляет проволоку по всей длине. Применение оловянного шарика позволяет снизить среднюю температуру вставки в момент плавления до  $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Ускорение плавления вставки достигается также при использовании плавкой вставки специальной формы, имеющей суженные участки. При токах КЗ узкие участки нагреваются настолько быстро, что отвода тепла почти не происходит. Вставка перегорает одновременно в нескольких суженных местах прежде чем ток КЗ достигает своего установившегося значения в цепи постоянного тока или ударного тока в цепи переменного тока (рис. 4.2). Ток КЗ при этом ограничивается до  $i_{огр}$  (в  $2\text{--}5$  раз). Такое явление называется токоограничивающим действием, это улучшает условия дугогашения в предохранителях.

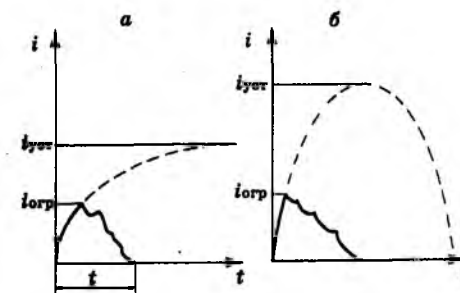


Рис. 4.2. Токоограничивающий эффект плавких предохранителей:  
а — при постоянном токе;  
б — при переменном токе

Гашение электрической дуги, возникающей после перегорания плавкой вставки, должно осуществляться в течение минимального времени. 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 широко используются для защиты электродвигателей, электрооборудования, электрических сетей в промышленных, бытовых электроустановках и имеют различную конструкцию.

Плавкие предохранители отличаются простотой устройства и низкой стоимостью, однако они 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, будут включены на две фазы, что приведет к перегреву обмоток электродвигателей и выводу их из строя.

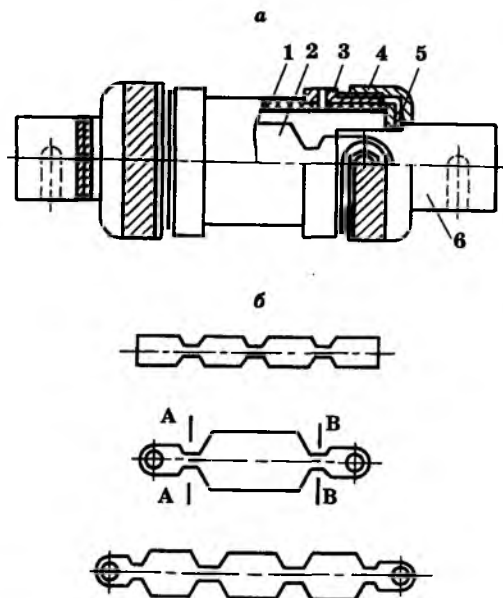


Рис. 4.3. Предохранители серии ПР2:  
а — патрон; б — формы плавких вставок

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 обеспечивают пружины.

Плавкие вставки изготавливают 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 температура всей вставки примерно одинаковая. При перегрузках узкие участки нагреваются быстрее, и вставка плавится в самом горячем месте (сечение А — А на рис. 4.3, б).

При коротком замыкании вставка плавится в узких сечениях А — А, В — В.

Возникающая при этом дуга способствует образованию газов (50 %  $\text{CO}_2$ , 40 %  $\text{H}_2$ , 10 % паров  $\text{H}_2\text{O}$ ), так как стенки патрона изготовлены из газогенерирующего материала — фибры. В зависимости от отключаемого тока давление может достигать 10 МПа и более, что обеспечивает быстрое гашение дуги и токоограничивающее действие предохранителя. Для уменьшения возникающе-

Предохранители с закрытыми разборными корпусами (патронами) без наполнителя серии ПР2 (см. рис. 4.3) изготавливаются в расчете на напряжение 220 и 500 В и номинальный ток 100...1000 А.

Патрон предохранителя ПР2 (см. рис. 4.3, а) на ток 100 А и более состоит из толстостенной фибровой трубки 1, на которую плотно насажены латунные втулки 3, с мелкой резьбой. На трубки навинчиваются латунные колпачки 4, которые закрепляют плавкую вставку 2, привинченную к ножам 6, до установки ее в патрон. В

го при отключении тока короткого замыкания 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) используются для защиты силовых цепей переменного (до 500 В) и постоянного (440 В) тока и выпускаются на номинальные токи 100...1000 А.

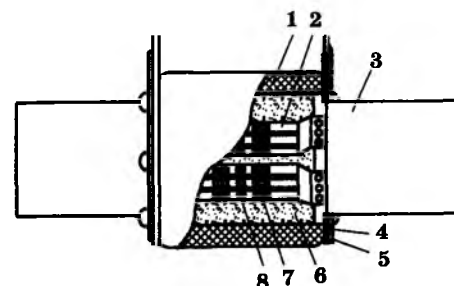


Рис. 4.4. Предохранители серии ПН2

Трубка 1, изготовленная из фарфора, квадратная снаружи и круглая внутри, 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 врубных 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°C, дуга возникает в нескольких параллельных каналах (в соответствии с количеством вставок). Это обеспечивает наименьший объем паров металла в канале между зернами кварца и наилучшие условия гашения дуги в узкой щели. Насыпные предохранители, как и предохранители серии ПР, обладают токоограничивающим свойством.

Для уменьшения возникающих перенапряжений плавкая вставка имеет по длине прорезы, причем их количество зависит от номинального напряжения предохранителя (из расчета 100...150 В на участок между прорезями). Вставка сгорает в узких местах, поэтому длинная дуга оказывается разделенной на ряд коротких дуг, суммарное напряжение на которых не превышает суммы катодных и анодных падений напряжения [5].

Наполнителем в предохранителях серии ПН является чистый кварцевый песок (99  $\text{SiO}_2$ ). Вместо кварца можно использовать мел ( $\text{CaCO}_3$ ), который иногда смешивают с асбестовым волокном. При возникновении дуги мел разлагается с выделением углекислого газа  $\text{CO}_2$  и  $\text{CaO}$  — тугоплавкого материала. Реакция происходит с поглощением энергии, что способствует гашению дуги. Предельный отключаемый ток предохранителей серии ПН2 достигает 50 кА.

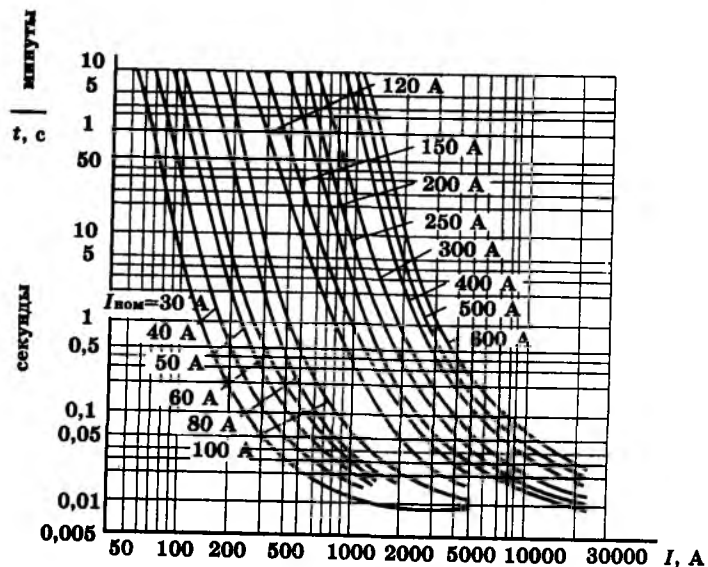


Рис. 4.5. Защитная характеристика насыпных предохранителей

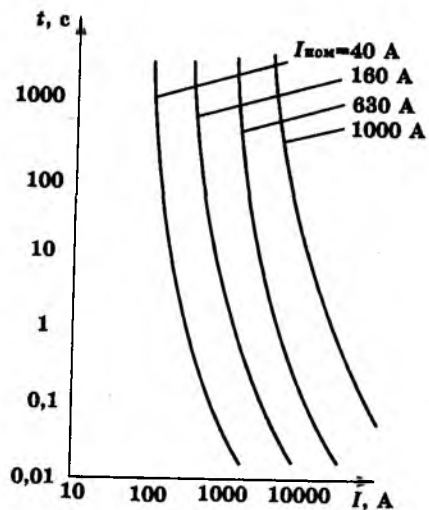


Рис. 4.6. Защитная характеристика предохранителя серии ПП-31

Защитная характеристика насыпных предохранителей серии ПН2 приведена на рис. 4.5.

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

Вместо предохранителей ПН2 разработаны предохранители серии ПП-31 с алюминиевыми вставками, рассчитанные на номинальный ток 63...1000 А и имеющие предельный ток отключения до 100 кА при напряжении 660 В. Их защитная характеристика дана на рис. 4.6.

Для защиты полупроводниковых приборов разработаны быстродействующие предохранители серий ПП-41, ПП-57, ПП-59, ПП-71 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. Электротехнической промышленностью изготавливаются предохранители, рассчитанные 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 используются пробочные плавкие предохранители серии ПРС. Номинальный ток корпуса 6; 25; 63; 100А.

Конструкция и защитная характеристика предохранителей ПРС приведены рис. 4.7.

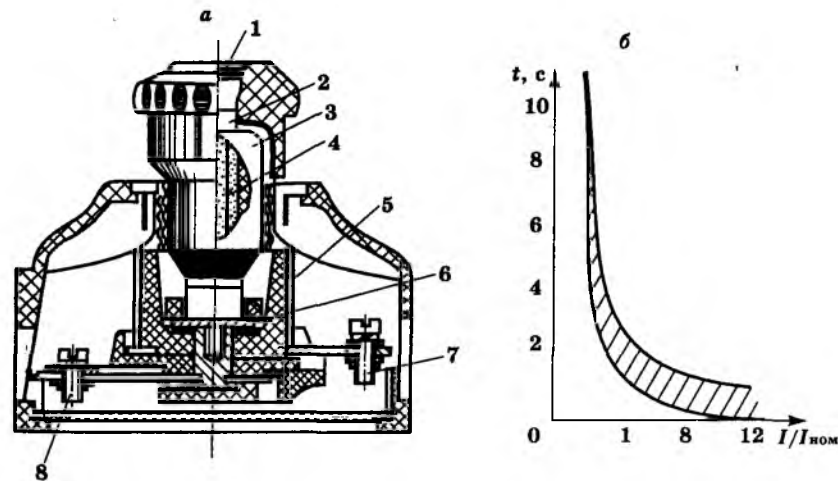


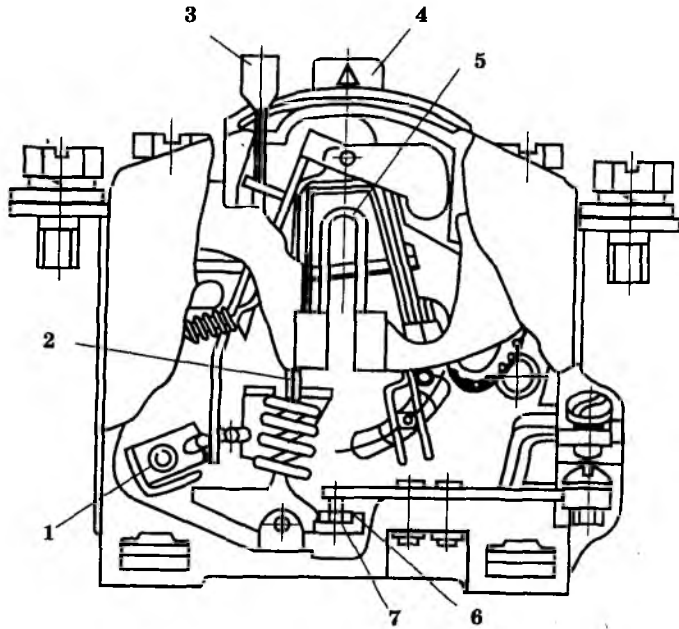
Рис. 4.7. Предохранители серии ПРС:

а — общий вид (1 — застекленное отверстие; 2 — съемная головка; 3 — фарфоровый цилиндр; 4 — плавкая вставка; 5 — контактная линза; 6 — контактный винт; 7, 8 — зажимы); б — защитная характеристика

**Тепловые 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 ( $\alpha$ ) при нагревании. Пластины жестко скреплены друг с другом за счет проката в горячем

состоянии или контактной сваркой. В качестве материалов для термобиметаллических элементов используется инвар, имеющий низкое значение  $\alpha$ , и хромоникеливая сталь, которая отличается высоким значением  $\alpha$ .

Если биметаллический элемент неподвижно закрепить с одной стороны и нагреть, пластина изогнется в сторону материала с меньшим коэффициентом линейного расширения  $\alpha$ . Термобиметаллическая пластина в реле, изгибаясь, действует на защелку, при этом происходит переключение контактов. Тепловые реле могут иметь размыкающий или размыкающий и замыкающий контакты. В схемах управления и защиты электродвигателей используются замыкающие контакты реле, которые действуют на срабатывание сигнального устройства, или размыкающие контакты реле, способствующие отключению электродвигателя от сети.



Биметаллический элемент может нагреваться за счет тепла, выделяющегося при прохождении 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. Нагревательные элементы в данном случае могут перегореть до срабатывания реле. В связи с этим защиту с помощью тепловых реле следует дополнить плавкими предохранителями или автоматическими выключателями.

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

Тепловое реле серии ТРП (рис. 4.8) является однополюсным с одним размыкающим контактом. Оно состоит из устройства самовозврата подвижного контакта 1, термобиметаллического элемента 2, кнопки ручного возврата подвижного контакта 3, регулятора уставки тока 4, сменного нагревателя 5, неподвижного контакта 6 и подвижного контакта 7. При токовой перегрузке пластина 2 изгибается и поворачивает контактную систему, размыкая контакты 6, 7 размыкаются, отключая цепь управления двигателем. При охлаждении контактная система возвращается в исходное положение. При необходимости вернуть реле в исходное положение можно вручную с помощью кнопки 3.

Тепловое реле серии ТРН-10 (рис. 4.9) имеет пластмассовый корпус с тремя отсеками. В крайних отсеках находятся тепловые элементы в виде термобиметаллических пластин 4 и сменные нагревательные элементы 2, закрепленные винтами 3. В среднем отсеке размещен температурный компенсатор 9, эксцентрик 8 регулирования уставки реле, механизм срабатывания с защелкой 6, размыкающий контакт 5 и кнопка возврата контакта в исходное состояние после срабатывания. Винтовые зажимы 1 предназначены для включения теплового реле в цепь нагрузки. Если по нагревательному элементу 2 проходит ток перегрузки, термобиметаллическая пластина 4 изгибается и свободным концом поворачивает держатель с компенсатором 9, который выводит защелку 6 из зацепления с пластиной эксцентрика, и контакты реле размыкаются.

Тепловые реле серии РТЛ (рис. 4.10) имеют трехполюсную конструкцию, т.е. тепловые биметаллические элементы установлены в трех фазах. Основные детали реле: 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 5, неподвижные контакты 6, подвижные контакты 7. Включение реле в исходное положение осуществляется кнопкой ручного возврата контактов 4.

При перегрузке, когда ток электродвигателя в 1,2 — 1,3 раза превысит номинальный ток уставки реле  $I_{ном. уст}$ , термобиметаллические элементы 1 нагреваются и, изгибаясь, воздействуют на пружину-защелку 2, которая освобождает устройство самовозврата контактов 3. Происходит переключение контактов 6, 7.

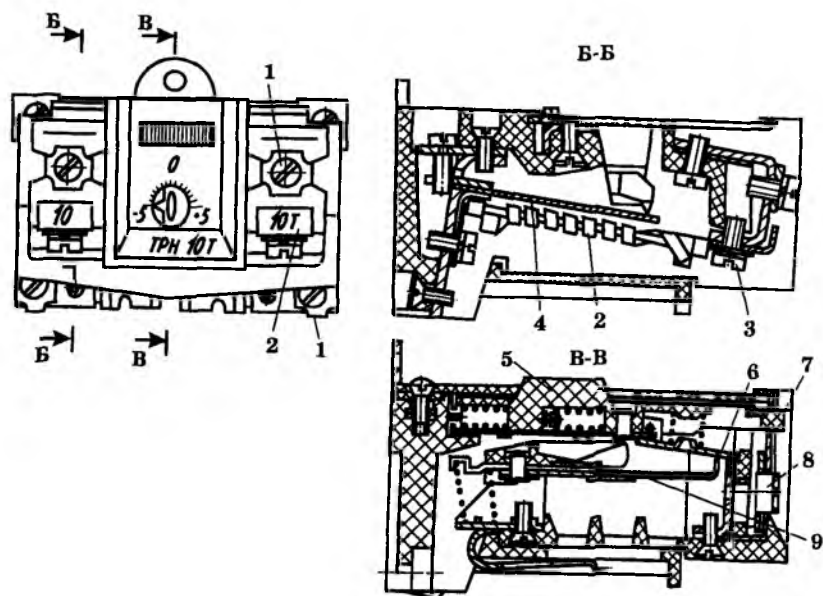


Рис. 4.9. Электротепловое реле серии ТРН

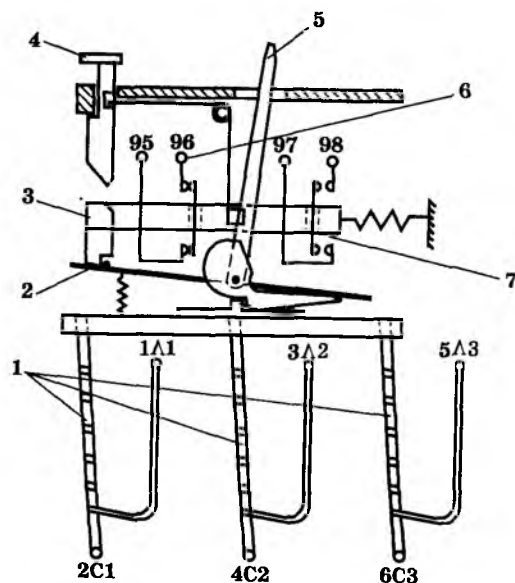


Рис. 4.10. Схема электротеплового реле серии РТЛ

Тепловые реле серии РТЛ выпускаются в расчете на ток установки в диапазоне 0,1...200 А. Устанавливаются они 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.

Технические характеристики тепловых реле даны в прил. 1 (табл. 2 — 4).

Автоматические выключатели предназначены для коммутации цепей при аварийных режимах, а также нечастых (от 6 до 30 в сутки) оперативных включений и отключений электрических цепей. Не имея недостатков плавких предохранителей, они обеспечивают быструю и надежную защиту электрической сети от токов перегрузки и короткого замыкания. Таким образом, автоматические выключатели одновременно выполняют функции защиты и управления.

Автоматические выключатели имеют реле прямого действия (расцепители), которые обеспечивают отключение при перегрузках, коротких замыканиях. Отключение может происходить без выдержки времени или с выдержкой. Автоматические выключатели характеризуются собственным временем отключения  $t_{с.откл}$  (промежуток времени с момента, когда контролируемый параметр превысил установленное для него значение, до начала расхождения контактов). Различают нормальные выключатели с  $t_{с.откл} = 0,02...0,7$  с, с выдержкой времени (селективные) и быстродействующие с  $t_{с.откл} < 0,005$  с.

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

Селективные автоматические выключатели позволяют осуществлять селективную защиту сетей путем установки автоматических выключателей с разной выдержкой времени: наименьшей у потребителя и ступенчато возрастающей к источнику питания.

Для обеспечения защитных функций выключатели снабжены тепловыми или электромагнитными расцепителями либо комбинированными (тепловыми и электромагнитными). Тепловые расцепители предназначены для защиты цепей от токов длительной перегрузки, а электромагнитные — от токов короткого замыкания. В зависимости от того, как изменяется характер элемента сети по сравнению с нормальным, срабатывают встроенные в аппарат тепловые или электромагнитные расцепители.



Действие тепловых расцепителей, которые встроены 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 она 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 он, обладая большой тепловой инерцией, не успевает нагреться за столь короткое 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, электромагнитный расцепитель отключает коммутирующее устройство и в результате мгновенно отключает линию.

Схема автоматического выключателя с комбинированным расцепителем показана на рис. 4.11. Для включения автоматического выключателя нажимают кнопку (выключатели серии АП50Б) или поворачивают рычаг (выключатели серий АЕ1000, АЕ2000, АЗ700, ВА), при этом замыкаются контакты 1 и защелки 3, 4 входят в зацепление.

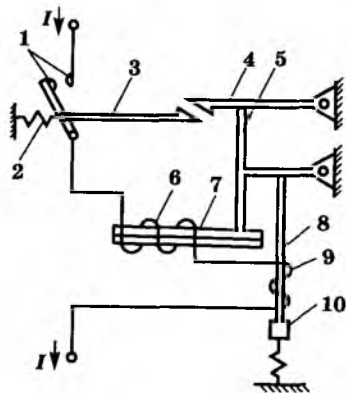


Рис. 4.11. Принципиальная схема автоматического выключателя

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

При перегрузке ток, проходя по нагревателю теплового реле, нагревает биметаллическую пластинку 7, которая изгибается и действует на рычаг 5. Рычаг приподнимает защелку 4, защелка 3 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 воздействует на рычаг 5 — происходит автоматическое отключение выключателя.

Автоматические выключатели характеризуются номинальным напряжением (максимальное напряжение сети, при котором еще можно использовать этот аппарат) и номинальным током (максимальный ток, указанный в паспорте, который выключатель выдерживает в течение неограниченного времени).

Расцепители, встроенные в выключатель, характеризуются номинальным током, который они выдерживают длительное время. Наименьший ток, вызывающий отключение выключателя, называется током трогания или срабатывания, а настройка расцепителя на заданный ток срабатывания — уставкой тока. Уставка тока электромагнитного расцепителя на мгновенное срабатывание называется отсечкой.

Автоматические выключатели характеризуются временем срабатывания. Защитная характеристика автоматического выключателя, приведена на рис. 4.12, она 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 короткого замыкания (участок *CD*) [5].

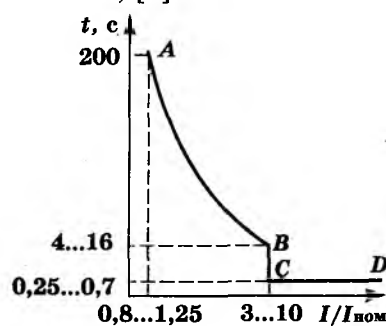


Рис. 4.12. Защитная характеристика автоматических выключателей

В современных выключателях серий АЗ700 и ВА используются полупроводниковые расцепители, которые обеспечивают более высокую точность срабатывания по току и времени. Структурная схема полупроводникового расцепителя показана на рис. 4.13. Блок 1 измеряет ток защищаемой сети. В сети переменного тока в качестве блока 1 применяются трансформаторы тока, а в сети постоянного тока — магнитные усилители. Блок 2 анализирует сигнал, поступающий из блока 1. Если этот сигнал соответствует току перегрузки, то из блока 2 поступает сигнал в блок 3, который запускает полупроводниковое реле 4, создающее зависимость от тока выдержку времени (см. участок *AB* на рис. 4.12).

При токе короткого замыкания сигнала с блока 2 достаточно для запуска блока 7, который является токовой отсечкой. Блок 6 создает выдержку времени в независимой части характеристики (участок *CD*). Блок 5 усиливает сигналы от блоков 4, 6 и подает импульс на отключающую катушку автоматического выключателя УАТ2.

При токе короткого замыкания сигнала с блока 2 достаточно для запуска блока 7, который является токовой отсечкой. Блок 6 создает выдержку времени в независимой части характеристики (участок *CD*). Блок 5 усиливает сигналы от блоков 4, 6 и подает импульс на отключающую катушку автоматического выключателя УАТ2.

Автоматические выключатели подразделяются на нерегулируемые и регулируемые. У нерегулируемых отсутствует приспособление для регулирования уставки расцепителя в процессе эксплуатации. Расцепитель каждого автоматического выключателя отрегулирован заводом-изготовителем в расчете на определенный номинальный ток. У регулируемых выключателей уставки расцепителей регулируют, воздействуя на механическую систему или специальное устройство, изменяющее время срабатывания автомата.

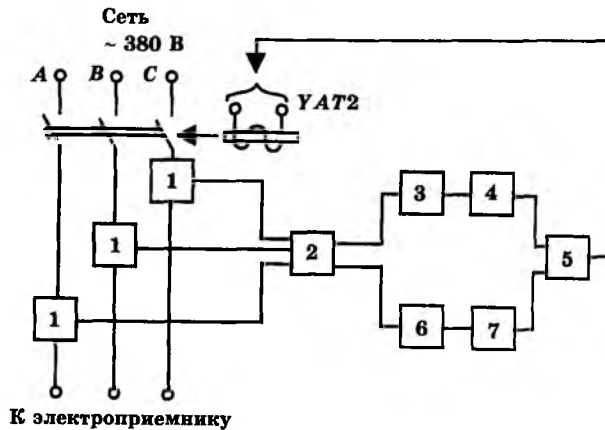


Рис. 4.13. Структурная схема полупроводникового расцепителя автоматического выключателя серии АЗ700С

В системах электроснабжения промышленных предприятий, общественных и жилых зданий, в схемах управления станков, механизмов, машин широко используются автоматические выключатели серии АП50Б, АЕ1000, АЕ2000, АЗ700 и полностью заменяющие их автоматические выключатели серий ВА51, ВА52, ВА53, ВА55, ВА75. Защитная характеристика автоматических выключателей серии ВА приведена на рис. 4.14.

Автоматические выключатели серии АЗ700 выпускают в следующих исполнениях:

токоограничивающие (серий АЗ710Б...АЗ740Б) с полупроводниковым и электромагнитным расцепителями максимального тока, изготавливаемые в расчете на токи 40...630 А;

токоограничивающие (серий АЗ711Б...АЗ742Б) с электромагнитным расцепителем максимального тока на 160...630 А;

селективные (серий АЗ733С...АЗ744С) с полупроводниковым расцепителем максимального тока на 250...630 А.

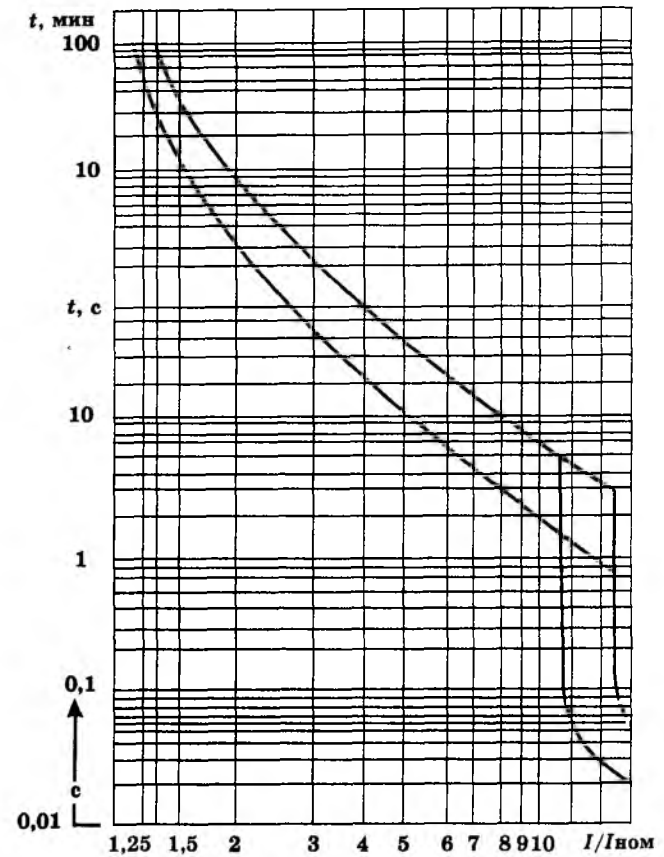


Рис. 4.14. Защитная характеристика автоматического выключателя серии ВА

Широкое распространение получили малогабаритные пробочные автоматические выключатели (рис. 4.15), предназначенные для защиты от коротких замыканий и перегрузок осветительных сетей в бытовых и жилых помещениях. Они выпускаются в расчете на номинальный ток 6...50 А и напряжение до 380 В.

Катушка электромагнита 1 и биметаллическая пластина 2 включены в цепь нагрузки последовательно. При токах перегрузки электротепловой биметаллический элемент нагревается и, изгибаясь, действует на механизм свободного расцепления 5. При токах короткого замыкания в защищаемой цепи электромагнит 1 мгновенно втягивает сердечник, который воздействует на механизм расцепителя 5, при этом происходит автоматическое отключение выключателя. Отключить выключатель можно и вручную, нажав кнопку 4, а включить, нажав кнопку 3.

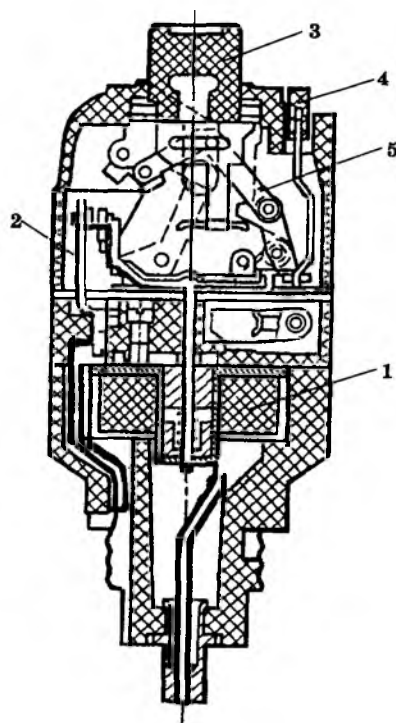


Рис. 4.15. Малогабаритный пробочный автоматический выключатель

другого электрооборудования. Конструкция реле представлена на рис. 4.16. Реле состоит из электромагнита 1, обмотки из двух катушек 2, якоря 5, укрепленного на оси с подвижным мостом 3, и спиральной противодействующей пружины 4. Когда электромагнитная сила реле превышает механическую силу пружины, якорь притягивается к электромагниту. При этом подвижный контактный мост 3 замыкает одну пару неподвижных контактов и размыкает вторую пару.

Уставка срабатывания реле серии РТ-40 плавно регулируется натяжением пружины 4 и ступенчато — переключением катушек обмотки с последовательной схемы на параллельную (рис. 4.16, б). При этом значение уставок шкалы реле изменяется в 2 раза. Пределы уставок тока срабатывания реле при последовательном соединении катушек составляют 0,5...25 А, при параллельном соединении — 1...50 А. Технические характеристики реле серии РТ-40 приведены в прил. 1 (табл. 11).

**Токовые реле.** В схемах релейной защиты систем электроснабжения наиболее распространены токовые реле электромагнитной и индукционной систем.

Приводы ряда высоковольтных выключателей имеют встроенные реле мгновенного действия серии РТМ и реле с выдержкой времени серии РТВ.

Реле РТМ имеют токи уставки ( $I_{уст}$ ) 5; 7; 8; 10; 12,5; 15А и выполняются в четырех вариантах с регулированием тока уставок:

РТМ-1 — 5...15 А; РТМ-2 — 10...25 А; РТМ-3 — 30...60 А; РТМ-4 — 75...150 А.

Реле серии РТВ выполнены в шести вариантах, диапазон уставки номинальных отключающих токов 5...35 А. Они имеют ограниченно зависимую характеристику выдержки времени с регулированием от 0 до 4 с.

Электромагнитные реле мгновенного действия серии РТ-40 применяются в схемах максимально-токовой защиты систем электроснабжения и

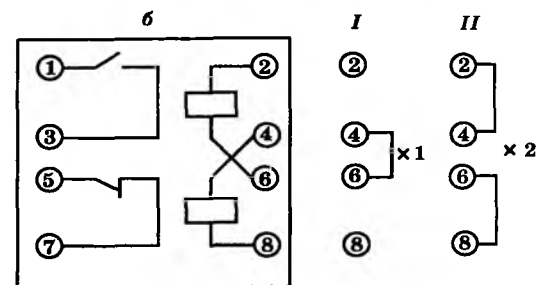
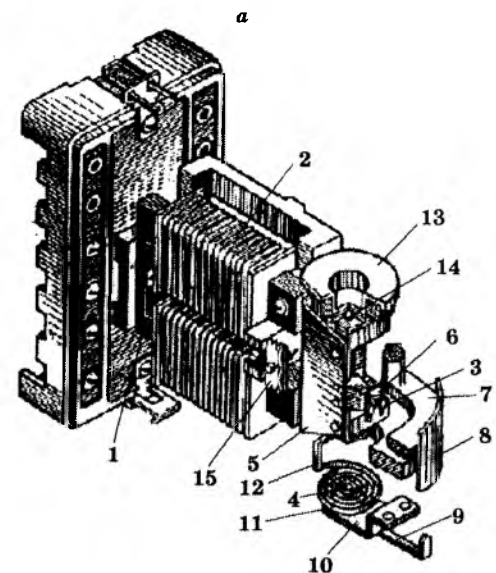


Рис. 4.16. Реле максимального тока серии РТ-40:  
а — общий вид

(1 — магнитопровод; 2 — катушки; 3 — подвижный контактный мостик; 4 — пружина; 5 — якорь; 6 — неподвижные контакты; 7 — изоляционная колодка; 8 — шкала; 9 — указатель; 10 — пружинодержатель; 11 — втулка; 12 — хвостовик; 13 — гаситель колебаний; 14 — ось; 15 — упоры);  
б — схемы соединения обмоток реле

Реле тока серии РТ-80. Комбинированное реле тока имеет индукционный воспринимающий элемент, который действует с выдержкой времени, зависящей от тока, и электромагнитный воспринимающий элемент мгновенного действия (отсечка), срабатывающий при высоких значениях тока. Выпускаются различные реле серий РТ-81...РТ-86, РТ-91 и РТ-95. У них одинаковое устройство и принцип действия, но различные характеристики, количество или конструкция контактов. Реле серий РТ-81, РТ-82 имеют один замыкающий контакт, а реле РТ-85, РТ-86 — усиленные переключающие контакты. Реле РТ-83, РТ-84 имеют два замыкающих контакта: главный — срабатывающий от электромагнитного элемента и сигнальный — действующий от индукционного элемента; реле РТ-91 — только один замыкающий контакт обычного исполнения, реле РТ-95 — усиленный переключающий контакт.

Индукционное реле серии РТ-80 имеет индукционный и электромагнитный релейные элементы (рис. 4.17). 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. пружинной 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.

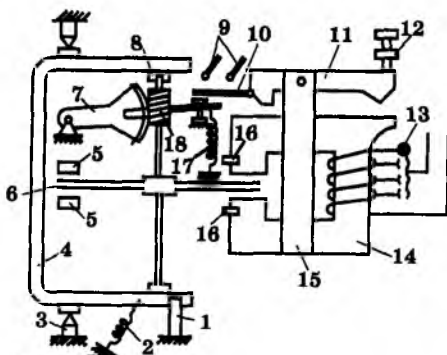


Рис. 4.17. Реле максимального тока серии РТ-80

Когда по обмотке реле протекает ток  $I_p \geq I_{ср.р}$ , 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. Ток срабатывания индукционного элемента  $I_{ср.р}$  регулируется при изменении количества витков обмотки (при перестановке контактного витка 13 на контактной колодке);  $I_{ср.р} \geq (2...10) А$ ; время срабатывания 0,5...16 с.)

#### 4.3. Условия выбора электрических аппаратов защиты

Для защиты электродвигателей от коротких замыканий нужно использовать предохранители или автоматические выключатели [1]. Номинальные токи плавки вставок предохранителей или автоматических выключателей следует выбирать таким образом, чтобы было обеспечено надежное отключение тока короткого замыкания на зажимах электродвигателя. Вместе с тем электродвигатели при номинальных для данной установки всплесках, пиках тока (пиках технологических нагрузок, пусковых токах, токах самозапуска и т.п.) не должны быть отключены этой защитой. Для электродвигателей механизмов с легкими условиями пуска отношение пускового тока электродвигателя к номинальному току плавкой вставки должно быть не более 2,5, а для электродвигателей механизмов с тяжелыми условиями пуска (большая длительность разгона, частые пуски и т.п.) оно должно быть равным 1,6...2,0.

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

При защите электроприемников необходимо учитывать защиту и электрической сети. Электрические сети подразделяются на две группы: 1) защищаемые от токов перегрузки и тока короткого замыкания; 2) защищаемые только от тока короткого замыкания [1].

Защита от коротких замыканий выполняется обязательно для всех электродвигателей (электроприемников) и электрических сетей, защита от перегрузки — 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 для грузоподъемных механизмов, защита от перегрузки не выполняется.

Защите от перегрузки подлежат:

сети в помещениях, проложенные открыто незащищенными изолированными проводниками с горючей оболочкой;

сети внутри помещений, проложенные защищенными проводниками в трубах, в несгораемых строительных конструкциях и т.п.;

осветительные сети в жилых, общественных и торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников, а также в пожароопасных производственных помещениях;

сети промышленных предприятий, в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, когда по условиям технологического процесса или режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводов и кабелей;

сети всех видов во взрывоопасных наружных установках независимо от условий технологического процесса или режима работы сети.

Все остальные сети не требуют защиты от перегрузки и защищены только от тока короткого замыкания.

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

$$I_{\text{ном.з.а}} \geq I_{\text{ном}} (I_{\text{расч}}), \quad (4.1)$$

где  $I_{\text{ном}}$  — номинальный ток электродвигателя, который определяется по паспортным данным электродвигателя (электроприемника), А;  $I_{\text{расч}}$  — расчетный ток электроприемника, определяемый по формулам:

$$I_{\text{расч}} = P_{\text{ном}} / \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \quad (\text{для трехфазной сети с нулем});$$

$$I_{\text{расч}} = P_{\text{ном}} / U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \quad (\text{для однофазной сети});$$

$$I_{\text{расч}} = P_{\text{ном}} / U_{\text{ном}} \quad (\text{для сети постоянного тока}).$$

При выборе плавких вставок предохранителей для защиты электродвигателей и электрооборудования, во время включения которого возникает пусковой ток, следует 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:

$$I_{\text{ном.пл.вст}} \geq I_{\text{кр}} / \alpha, \quad (4.2)$$

где  $I_{\text{кр}}$  — кратковременный ток группы электродвигателей (для одиночного электродвигателя  $I_{\text{кр}} = I_{\text{пуск}}$ ), А;  $\alpha$  — коэффициент, учитывающий условия пуска и длительность пускового периода;  $\alpha = 2,5$  — нормальные условия пуска, время разгона от 2...2,5 до 5 с;  $\alpha = 1,6...2,0$  — тяжелые условия пуска, 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 уравнению

$$I_{\text{кр}} = I_{\text{пуск макс}} + \sum_1^{n-1} I_{\text{ном}}, \quad (4.3)$$

где  $I_{\text{пуск макс}}$  — пусковой ток наибольшего 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 рассчитать по формуле

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{ном}} I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}}, \text{ А}, \quad (4.4)$$

где  $I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}}$  — кратность пускового тока, которая определяется по техническим данным электродвигателей.

Плавкие вставки предохранителей для защиты асинхронных электродвигателей с фазным ротором рекомендуется выбирать в соответствии с формулой

$$I_{\text{ном.пл.вст}} \geq (1,15...1,25) I_{\text{ном}}. \quad (4.5)$$

Номинальный ток плавких вставок предохранителей для защиты линий питания сварочного трансформатора определяется по формуле

$$I_{\text{ном.пл.вст}} \geq I_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}}. \quad (4.6)$$

Одним из условий выбора предохранителей является обеспечение избирательности их действия (селективности защиты).

Это осуществляется за счет того, что время срабатывания плавких вставок, стоящих выше в цепи предохранителей, увеличивается на одну-две ступени по отношению к предохранителям, установленным ниже по схеме от пункта питания.

*Пример 1.* Выбрать плавкие предохранители серии ПН2 для защиты асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором серии 4А 160S2Y3 от тока короткого замыкания, который включен по схеме, представленной на рис. 4.18.

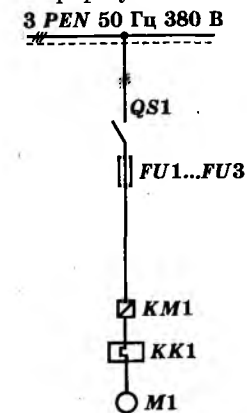


Рис. 4.18. Схема защиты электрической сети от короткого замыкания к электродвигателю

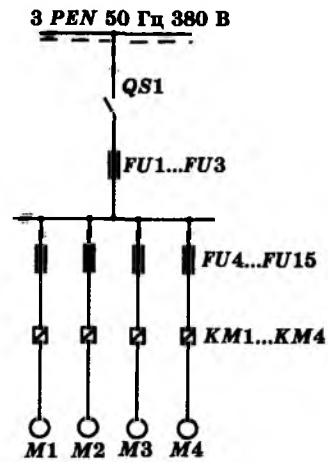


Рис. 4.19. Схема защиты электрической сети группы электродвигателей

Пример 2. Для группы электродвигателей M1, M2, M3, M4 (рис. 4.19) нужно выбрать предохранители FU4...FU15 и FU1...FU3, установленные для защиты сети, питающей группу электродвигателей (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Технические характеристики электродвигателей

Наименование	M1	M2	M3	M4
$P_{\text{ном}}$ , кВт	2,2	3,0	5,5	18,5
$I_{\text{ном}}$ , А	5,7	6,6	11,3	35,2
КПД, %	75	82	85,5	88,5
$\cos \varphi$	0,74	0,83	0,85	0,92
$I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}}$	5,5	6,5	7,0	7,5

Предохранители FU4...FU15 выбирают в соответствии (4.2), как и плавкие вставки предохранителей для защиты электродвигателя M1 (см. рис. 4.18).

Выбор плавких вставок предохранителей FU1...FU3, защищающих питающую электрическую сеть, осуществляется по условию (4.2), где кратковременный ток определяется по выражению (4.3):

Технические характеристики электродвигателя:  $P_{\text{ном}} = 15$  кВт;  $I_{\text{ном}} = 28,5$  А;  $n_{\text{ном}} = 2940$  об/мин;  $I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}} = 7,0$ ; условия пуска нормальные.

Плавкую вставку предохранителя выбирают по условию (4.2). Для этого необходимо определить пусковой ток:

$$I_{\text{пуск}} = 28,5 \cdot 7 = 199,5 \text{ А};$$

$$I_{\text{ном.пл.вст}} \geq 199,5 / 2,5 = 79,8 \text{ А}.$$

Следовательно, условию (4.2) удовлетворяет плавкая вставка на номинальный ток  $I_{\text{ном}} = 80$  А, так как  $80 \text{ А} > 79,8 \text{ А}$ .

Запись выбранных предохранителей производится следующим образом:

записывается тип предохранителя, ток номинального основания (патрона), номинальный ток плавкой вставки, например ПН2-100/80 А.

Пример 3. Выбрать тепловое реле для защиты электродвигателя M1 от перегрузки (см. рис. 4.18). Номинальный ток электродвигателя равен 28,5 А, следовательно, условию (4.7) удовлетворяет тепловое реле серии РТЛ-2053 на номинальный ток уставки 32 А с пределами регулирования тока уставки в диапазоне 23...32 А.

$$I_{\text{кр}} = 129,5 + 23,6 = 153,1 \text{ А}.$$

Условию (4.2) удовлетворяют плавкие вставки на номинальный ток 160 А, но с учетом селективности следует принять предохранители с плавкими вставками на ступень выше, т.е. на ток 200 А.

Выбор тепловых реле. Тепловые реле для защиты электродвигателей от длительной перегрузки выбирают по номинальному току электродвигателя в соответствии с условием

$$I_{\text{ном.т.р}} \geq I_{\text{ном.эл.дв}} \quad (4.7)$$

Пример 3. Выбрать тепловое реле для защиты электродвигателя M1 от перегрузки (см. рис. 4.18).

Номинальный ток электродвигателя равен 28,5 А, следовательно, условию (4.7) удовлетворяет тепловое реле серии РТЛ-2053 на номинальный ток уставки 32 А с пределами регулирования тока уставки в диапазоне 23...32 А.

$$32 \text{ А} > 28,5 \text{ А}$$

Выбор автоматических выключателей. Автоматические выключатели выбираются по двум условиям:

$$I_{\text{ном.т.р}} \geq (1,15 \dots 1,25) I_{\text{ном}}; \quad (4.8)$$

$$I_{\text{срб. эм. расц (отсечка)}} \geq 1,25 I_{\text{пуск}} \quad (4.9)$$

где  $I_{\text{ном.т.р}}$  — номинальный ток уставки теплового расцепителя, А;  $I_{\text{срб. эм. расц (отсечка)}}$  — ток срабатывания электромагнитного расцепителя (отсечка), А.

Пример 4. Выбрать автоматический выключатель серии ВА для защиты электродвигателя M1 (см. рис. 4.19). Технические характеристики электродвигателя приведены в табл. 4.1.

Номинальный ток электродвигателя  $I_{\text{ном}} = 5,7$  А, следовательно, условию (4.8) удовлетворяет автоматический выключатель с тепловым расцепителем на 8 А. Тогда  $8 \text{ А} > 5,7 \cdot 1,25$ ,  $8 \text{ А} > 6,6 \text{ А}$ .

Проверим ток срабатывания электромагнитного расцепителя  $I_{\text{ср. эм. расц}}$  автоматического выключателя с тепловым расцепителем на 8 А. Для этого подставим расчетные значения в условие (4.9):

$$8,0 \cdot 10 > 5,7 \cdot 5,5 \cdot 1,25;$$

$$80 \text{ А} > 39,2 \text{ А}.$$

Условием выбора удовлетворяет автоматический выключатель серии ВА 51Г-25 на номинальный ток 25 А с уставкой теплового расцепителя на ток 8,0 А.

## ГЛАВА 5. БЕСКОНТАКТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДАТЧИКИ

### 5.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ДАТЧИКОВ

В процессе работы электрического и технологического оборудования возникает необходимость контролировать происходящие при этом процессы. Для этого нужна информация о состоянии и текущих значениях скорости, тока, момента, ЭДС, температуры, давления, уровня жидкости в емкости, положения, освещенности и т.д. Устройства, которые выдают подобную информацию в виде электрических сигналов, называются измерительными преобразователями или датчиками.

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

Датчики классифицируются по следующим признакам. По принципу преобразования электрических и неэлектрических величин в электрические датчики подразделяются на тепловые, датчики давления, уровня, пути, электромагнитные, датчики Холла, фотодатчики; по конструкции — на контактные и бесконтактные; по роду тока и величине напряжения; по току выходного исполнительного органа; по конструктивным особенностям и степени защиты.

В зависимости от вида выходного сигнала датчики подразделяются на генераторные и параметрические. Генераторные датчики под воздействием измеряемого физического параметра вырабатывают электрическую энергию. Параметрические датчики под воздействием измеряемой величины меняют какие-либо электрические параметры (сопротивление, емкость, индуктивность, фазовый сдвиг и др.).

### 5.2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДАТЧИКОВ

**Тепловые датчики.** Принцип действия тепловых датчиков основан на использовании тепловых процессов (нагрева, охлаждения, теплообмена). Чтобы измерить температуру она преобразуется в промежуточную величину, например в ЭДС, в электрическое сопротивление и другие величины. Из всех существующих способов измерения температуры наиболее широко используются термоэлектрические.

Термоэлектрические явления заключаются в том, что при соединении двух проводов *A* и *B* (рис. 5.1) 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:

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

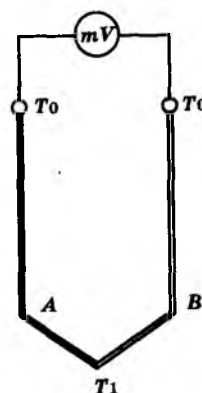


Рис. 5.1 Схема термоэлектрического преобразователя

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

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

Термопреобразователи сопротивления (термопары сопротивления) используются для передачи сигнала о температуре объекта на расстоянии от него до показывающего прибора, т.е. для дистанционного измерения температуры.

Принцип их работы основан на свойствах материалов изменять удельное сопротивление при изменении температуры (рис. 5.2).

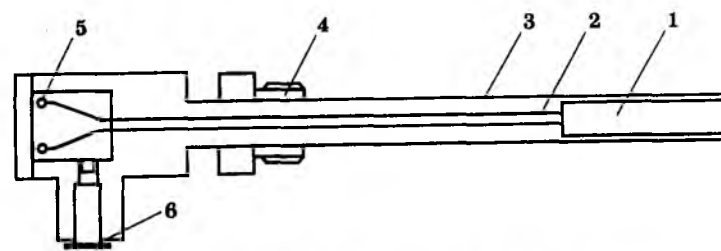


Рис. 5.2. Схема термопреобразователя сопротивления

Чувствительный элемент 1 термопреобразователя состоит из проволоки, намотанной на каркас. В зависимости от материала, из которого изготовлена проволока, различают термопреобразователи сопротивления медные (ТСМ) и платиновые (ТСП).

Размер каркаса чувствительного элемента равняется  $60\text{...}100\text{ мм}$ . Он крепится в конце корпуса защитной арматуры. На его другом конце есть зажимы 5 для проводов, которые идут от чувствительного элемента. На корпусе находится штуцер для его крепления на технологическом оборудовании.

Термопреобразователи отличаются монтажной длиной — расстоянием от штуцера до каркаса, в котором находится чувствительный элемент. Эта длина может изменяться от  $80$  до  $3150\text{ мм}$ . Пределы измеряемой температуры термопреобразователя составляют  $200\text{...}600\text{ }^\circ\text{C}$ .

Термоэлектрические преобразователи (термопары) служат для дистанционного измерения температуры. Принцип их действия основан на использовании ЭДС, которая получена от двух спаянных концов проволоки разного металла, если их спай и свободные концы находятся при разных температурах.

Термоэлектрические преобразователи обозначаются в зависимости от применяемых сплавов: хромель-копель (ТХК); хромель-алюмель (ТХА); платинородий-платина (ТПП); платинородий (30 % родия) — платинородий (6 % родия) (ТПР).

Термоэлектрический преобразователь устроен так же, как и термопреобразователь сопротивления. Длина его монтажной части достигает 10 м, пределы измеряемой температуры 60...1800 °С.

Особенность использования термоэлектрических преобразователей заключается в необходимости компенсации температуры холодных концов спая. Если температура холодных концов, равная температуре окружающего воздуха, будет изменяться, а температура измеряемой среды останется неизменной, то значения термоЭДС будут также изменяться. Неизменность показаний прибора достигается благодаря электрической компенсации влияния температуры в месте установки прибора, воспринимающего термоЭДС. Для этого термоэлектрический преобразователь присоединяют к вторичному прибору специальными компенсационными проводами (табл. 5.1) [6]

Таблица 5.1

Характеристика термоэлектродных проводов

Обозначение провода	Расцветка изоляции жил	Материал провода		Тип термопреобразователя
		положительный	отрицательный	
М	Красная Коричневая	Медь	Константан	ТХА
П	Красная Зеленая	Медь	Сплав ТП	ТПП
ХК	Фиолетовая Желтая	Хромель	Копель	ТХК

**Манометрические термометры.** Эти приборы используются для дистанционного измерения температуры. Принцип их действия основан на существовании зависимости между температурой и давлением жидкости или газа при постоянном объеме.

Прибор состоит из термобаллона 6, соединенного капилляром 5 с вторичным прибором — манометром (рис. 5.3). Капилляр в манометре соединяется с трубчатой пружиной, которая скручивается или раскручивается в зависимости от давления жидкости или газа в системе манометра, зависящего от температуры измеряемой среды, куда помещен термобаллон. Пружина действует на механизм манометра, который влияет на показывающие и регулирующие устройства (стрелки, самописцы, контакты).

Манометрические термометры бывают газовые, жидкостные и конденсационные, самопишущие, сигнализирующие и показывающие. К показывающим относятся газовые типа ТКЛ-100. Пределы измерения различных типов приборов составляют 50...600 °С, длина капилляра — 1,6...40 м.

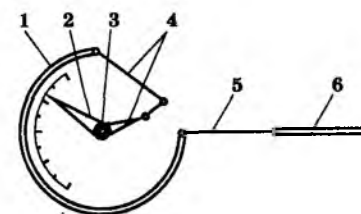


Рис. 5.3. Схема манометрического термометра:

- 1 — манометрическая пружина;  
2 — стрелка; 3 — ось; 4 — поводок;  
5 — капилляр; 6 — термобаллон

Терморезисторы широко применяются в устройствах автоматики. Их встраивают в обмотки электродвигателей, если используется устройство температурной защиты, они являются датчиками в регуляторах температуры. Биметаллические элементы являются датчиками температуры. Принцип их действия основан на свойстве пластинки, сваренной из двух разных металлов, изгибаться вследствие различного удлинения этих металлов при нагревании. Биметаллические элементы применяются в приборах для регулирования температуры различных сред, в промышленных установках и бытовых приборах, в аппаратах защиты — тепловых реле и тепловых элементах расцепителей автоматических включателей.

**Датчики давления** (электроконтактные манометры) применяются для измерения давления в различных средах. Чувствительными элементами манометров являются плоские или гофрированные мембраны, мембранные коробки, сильфоны и различные манометрические пружины (рис. 5.4).

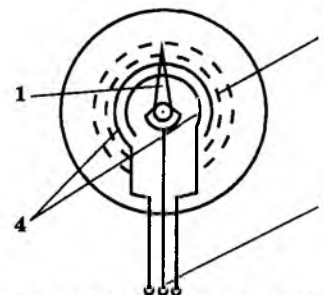


Рис. 5.4. Схема электроконтактного манометра:

- 1 — стрелка;  
2 — шкала; 3 — зажимы выводов;  
4 — контакты подвижные

В схемах автоматики используются электроконтактные манометры типов ЭКМ-1У, ЭКМ-2У, ВЭ-16Р6, пределы измерения которых составляют 0,1...160 МПа. Схема электроконтактного манометра показана на рис. 5.4.

**Датчики уровня** служат для контроля уровня жидкостей в резервуарах и подачи сигналов о регулировании этого уровня. Такие датчики бывают электродные, поплавковые и мембранные.

В схемах автоматики используются электроконтактные манометры типов ЭКМ-1У, ЭКМ-2У, ВЭ-16Р6, пределы измерения которых составляют 0,1...160 МПа. Схема электроконтактного манометра показана на рис. 5.4.

**Датчики уровня** служат для контроля уровня жидкостей в резервуарах и подачи сигналов о регулировании этого уровня. Такие датчики бывают электродные, поплавковые и мембранные.



Электродный датчик используется для контроля уровня электропроводных жидкостей. Он имеет короткий 1 электрод и два длинных 2, 3, которые укреплены в коробке зажимов (рис. 5.5). Короткий электрод является контактом верхнего уровня жидкости, а длинный — нижнего уровня. Датчик соединяется проводами со станцией управления двигателем насоса. Когда вода касается короткого электрода, это приводит к отключению пускателя насоса. Снижение уровня воды, когда он становится ниже длинного электрода, дает команду на включение насоса.

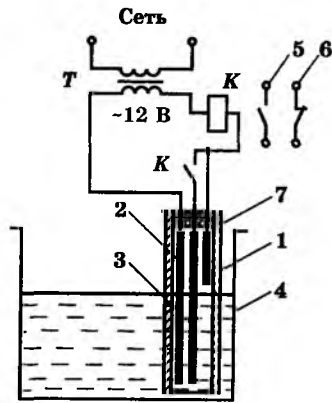


Рис. 5.5. Электродный датчик

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

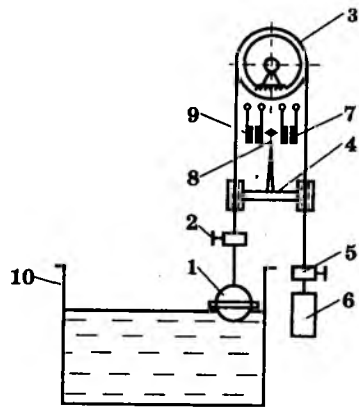


Рис. 5.6. Поплавковый датчик (реле)

Поплавковый датчик (реле) применяется в отапливаемых помещениях для контроля уровня неагрессивных жидкостей. На рис. 5.6 показано схематическое устройство реле. В резервуар 10 погружается поплавок 1, подвешенный на гибком контакте через блок 3 и уравновешенный грузом 6. На контакте закреплены упоры 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.

**Мембранные датчики.** Для определения уровня сыпучих материалов в бункерах используются мембранные датчики уровня, которые крепятся в отверстиях стенки бункера. В них мембрана воздействует на контакты, замыкая или размыкая цепь управления загрузочными или разгрузочными устройствами.

**Датчики пути и положения рабочих органов** обеспечивают создание управляющих сигналов в зависимости от пройденного пути или положения рабочих органов управляемого объекта.

Электроконтактные датчики представляют собой конечные, путевые выключатели, микропереключатели. Они кинематически связаны с рабочими механизмами и управляющим 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, изменяя скорость в зависимости от положения, которое занимает механизм рабочей машины.

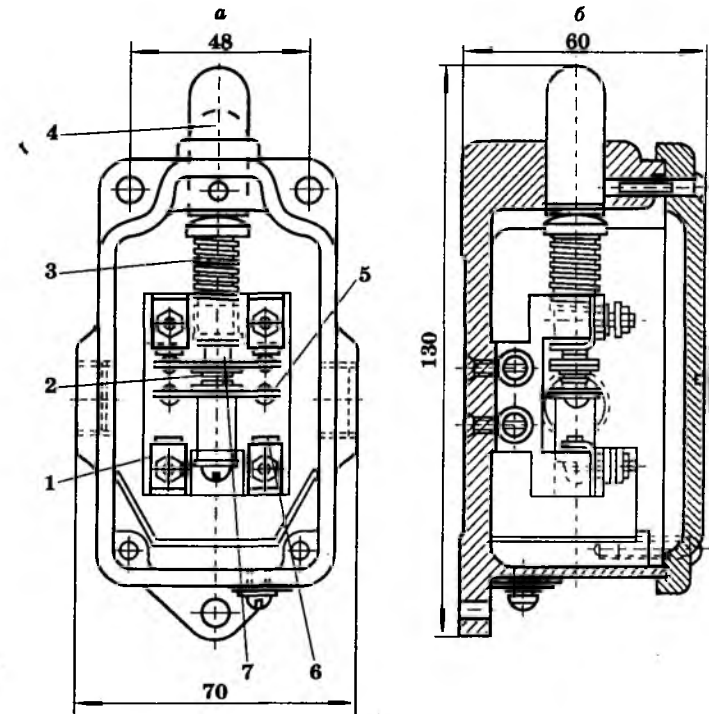


Рис. 5.7. Датчик пути нажимной

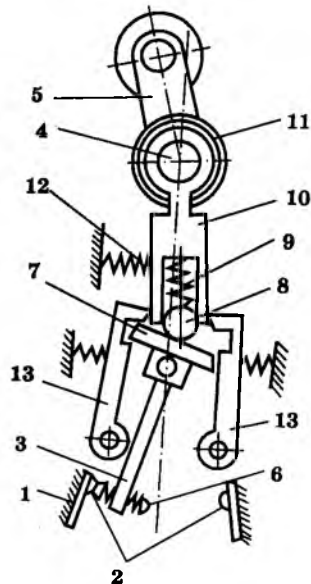
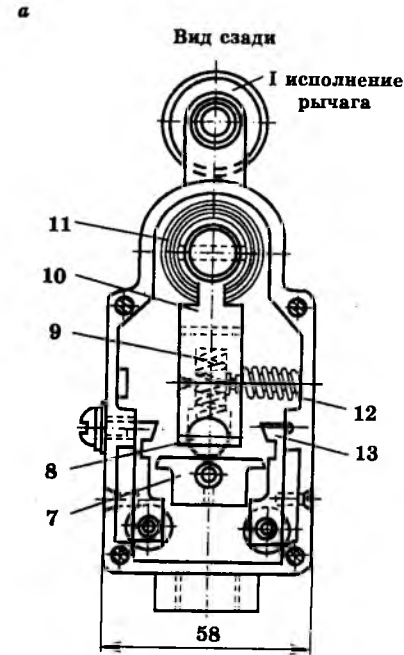
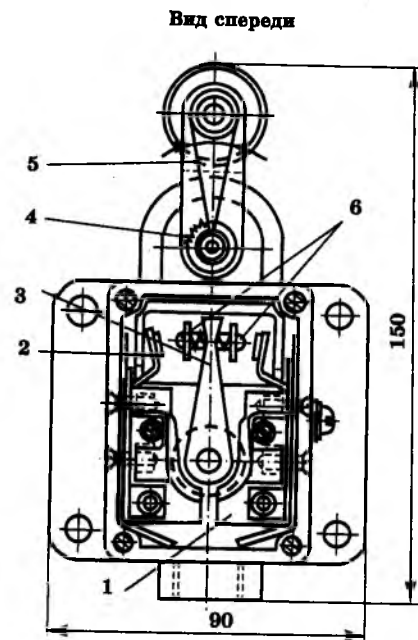


Рис. 5.8. Датчик пути рычажный

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 (рис. 5.7), и рычажные, когда движение передается через устройство в виде рычага, который поворачивается на некоторый угол (рис. 5.8).

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

Нажимные выключатели выпускают в основном простого действия (рис. 5.7). Выключатель состоит из основания 1, штока 4, опирающегося на сферическую поверхность втулки 7, неподвижных контактов 6, 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 контакты и включают замыкающие.

У выключателей моментного действия (рис. 5.8) на клеммных основаниях 1 укреплены неподвижные контакты 2. Мостик подвижных контактов 6 смонтирован на рычаге 3. Подвижный (измерительный) рычаг 5 связан с поводком 10 не жестко, а через набор ленточных пружин 11 (во избежание отказа выключателя при поломке пружины). Планка 7 связана с рычагом 3, при его повороте шарик 8 под действием пружины 9 заставляет планку 7 мгновенно переключать контакты в момент освобождения ее защелкой 13. Контакты возвращаются в исходное положение под действием вилки 4 под любым углом в пределах  $\pm 45^\circ$  от оси выключателя.

Электромагнитные датчики (преобразователи) широко используются для измерения различных физических величин. Разновидностью этих датчиков являются индуктивные преобразователи, созданные на основе принципа изменения индуктивности электромагнитной катушки в зависимости от сопротивления магнитной цепи. На рис. 5.9 приведена схема однообмоточного датчика линейных перемещений. При перемещении подвижного сердечника 3 относительно неподвижного 2 изменяется воздушный зазор  $\delta$ . Это приводит к изменению магнитного сопротивления цепи и, следовательно, индуктивной составляющей сопротивления обмотки 1. Между индуктивным сопротивлением

обмотки и величиной воздушного зазора существует функциональная зависимость

$$X = \omega L = \omega W^2 G_{\delta} = \omega W^2 \mu_0 S / \delta,$$

если пренебречь магнитным сопротивлением стали.

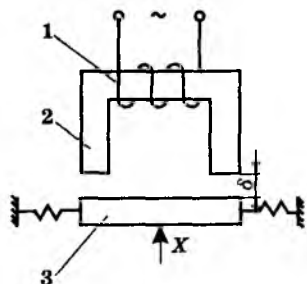


Рис. 5.9. Индуктивный датчик линейных перемещений

На рис. 5.10, а показан общий вид переключателя типа БВК-24. Его магнитопровод, размещенный в корпусе 4, состоит из ферритовых сердечников 1 и 2 с воздушным зазором шириной 5...6 мм между ними. В сердечнике 1 находится 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.

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. 5.10, б) не возникает. При введении лепестка в щель датчика взаимосвязь 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  $VT1$ , в которой происходит детектирование переменной составляющей тока базы. Транзистор открывается, вызывая срабатывание реле  $K$ .

**Бесконтактные путевые выключатели.** В схемах управления электроприводами станков, механизмов и машин применяются преобразователи пути, которые работают без механического воздействия со стороны движущегося упора. Широкое распространение получили бесконтактные переключатели щелевого типа с транзисторными усилителями, работающими в генераторном режиме.

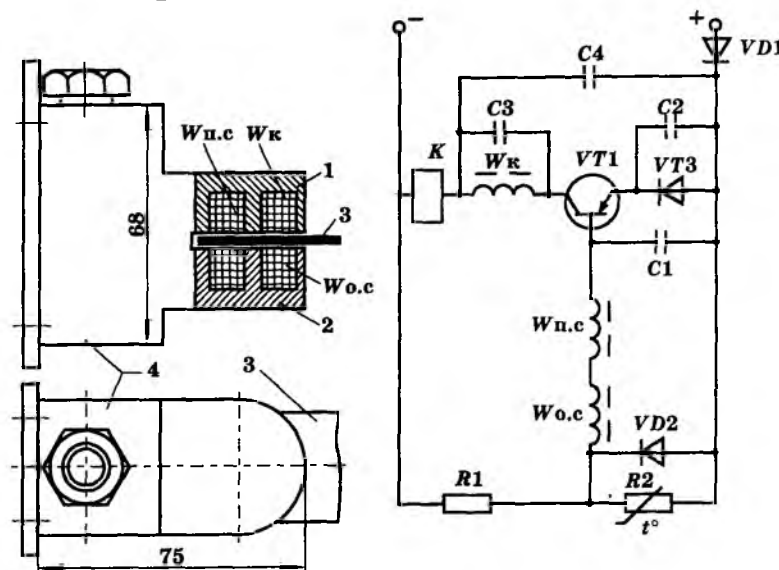


Рис. 5.10. Бесконтактный путевой переключатель БВК-24:  
а — общий вид; б — схема электрическая принципиальная датчика

Основными элементами бесконтактного путевого переключателя типа БСП-11 (рис. 5.11) являются трансформаторный датчик и полупроводниковый триггер с одним устойчивым состоянием. На сердечниках 1 и 2 магнитной системы размещены встречно включенные вторичные обмотки  $W_1$  и  $W_2$ . На оба сердечника намотана первичная обмотка  $W_3$ . Магнитная цепь обмоток  $W_2 - W_3$  замыкается перемещаемым якорем 3, а магнитная цепь обмоток  $W_3 - W_1$  замкнута магнитной пластинкой 4 постоянно. При разомкнутой цепи обмоток  $W_2 - W_3$  ток первичной обмотки наводит переменную ЭДС  $E_1$  в обмотке  $W_1$ , одна половина которой в точке А создает положительный потенциал, когда напряжение на коллекторе транзистора  $VT1$  и на базе транзистора  $VT2$  отрицательное. Транзистор  $VT1$  закрыт, а  $VT2$  открыт. Напряжение на выходе практически равно нулю, поскольку транзистор  $VT2$  шунтирует выходную цепь.

Для стабилизации работы транзистора при колебании температуры и напряжения служит нелинейный делитель напряжения, который состоит из линейного элемента  $R1$ , полупроводникового терморезистора  $R2$  и диода  $VD2$ . Погрешность срабатывания составляет 1...1,3 мм, напряжение питания переключателя БВК-24 — 24 В.

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

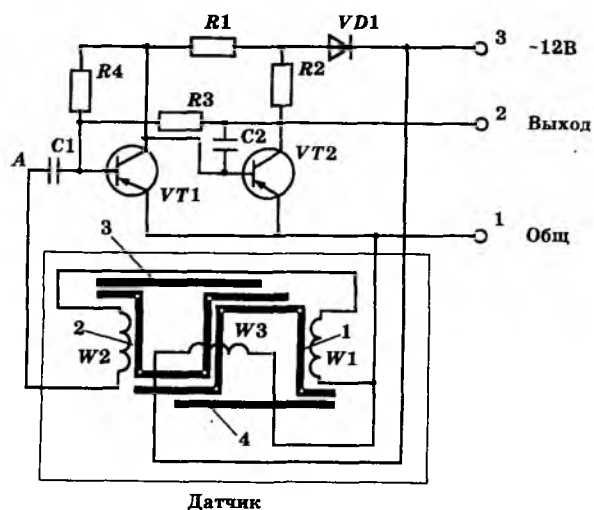


Рис. 5.11. Принципиальная электрическая схема бесконтактного путевого выключателя БСП-11

Когда якорь 3 передвинется и замкнет цепь обмоток  $W_2 - W_3$ , в обмотке  $W_2$  будет наведена переменная ЭДС  $E_2$ , которая уравнивает ЭДС  $E_1$ . При этом положительный потенциал в точке А исчезнет, транзистор  $VT_1$  откроется, а  $VT_2$  — закроется, и на выходе схемы появится напряжение. Бесконтактный путевого переключатель БСП-11 смонтирован в пластмассовом корпусе.

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

Контакты 1 (рис. 5.12) изготавливают из сплава железа с никелем. Если к стеклянной колбе 3 геркона поднести постоянный магнит 5 с полюсами  $N$  и  $S$  (рис. 5.12, б), то контакты 1 намагничиваются и притягиваются друг к другу. При перемещении магнита на некоторое расстояние контакты разомкнутся.

**Герконовое электромагнитное реле.** Если вместо постоянного магнита на стеклянной колбе 3 геркона расположить обмотку управления постоянного тока 4 (рис. 5.12, а), то при включении реле по катушке будет протекать ток, образуется магнитное поле, которое намагничивает контакты 1. В результате они будут притягиваться друг к другу и при этом замкнут цепь управления.

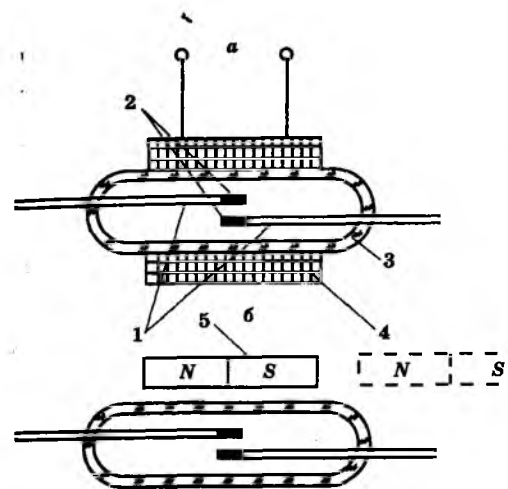


Рис. 5.12. Герконы:  
а — герконовое реле;  
б — герконовый путевого выключатель

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 используются тахогенераторы постоянного и переменного тока, которые преобразуют механическое вращение вала в электрический сигнал.

**Тахогенераторы постоянного тока** (рис. 5.13, а) представляют собой небольшие генераторы постоянного тока с независимым возбуждением или с возбуждением от постоянных магнитов. Они устроены так же, как и обычные машины постоянного тока. Основной характеристикой тахогенераторов является зависимость выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$  от угловой скорости  $\omega$ :

$$U_{\text{вых}} = k_{\text{ТГ}} \omega.$$

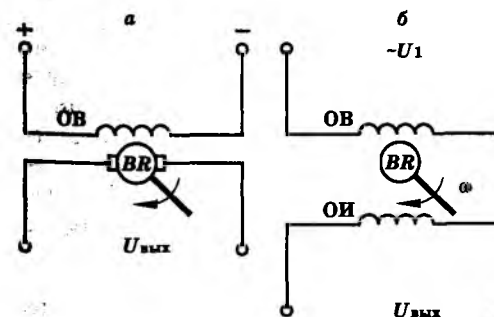


Рис. 5.13. Электрические схемы тахогенераторов:  
а — постоянного тока;  
б — переменного тока

Схема асинхронного тахогенератора переменного тока показана на рис. 5.13, 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 встраиваются в машины.

**Электромеханическое реле контроля скорости.** Реле контроля скорости (РКС) используется как датчик скорости и предназначено для работы в схемах торможения электродвигателей, чтобы отключить двигатель от сети после снижения скорости до нуля.

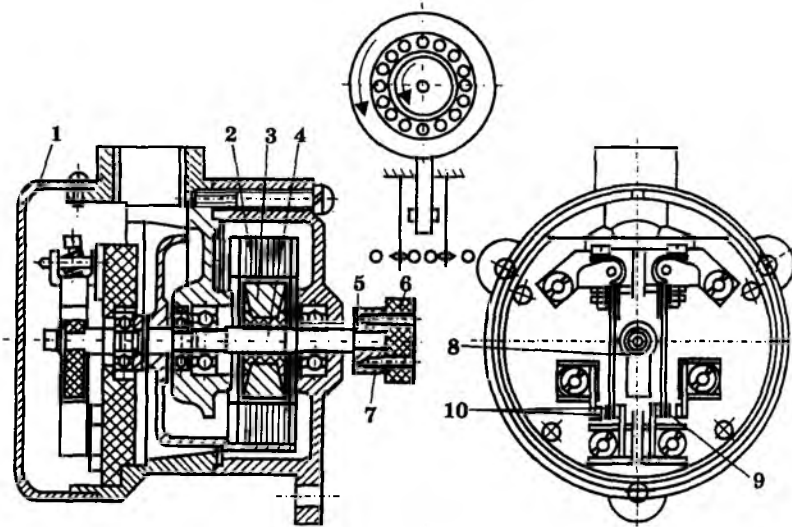


Рис. 5.14. Реле контроля скорости

Реле работает по принципу асинхронного двигателя. С валом электродвигателя, частоту вращения которого необходимо контролировать, связан постоянный магнит 3 датчика (рис. 5.14) через валик 4. Постоянный магнит помещен внутри алюминиевого цилиндра 2, имеющего обмотку в виде беличьей клетки. При вращении ротора двигателя и тем самым магнита 3 уже при небольших скоростях на цилиндр 2 начинает воздействовать вращающий момент, под действием которого он поворачивается и обеспечивает с помощью упора 8 переключение контактов 10. При скорости двигателя, близкой к нулю, цилиндр переходит в среднее положение и контактная система возвращается в исходное состояние.

**Датчики Холла** созданы на основе эффекта Холла — электромагнитного эффекте, в основу которого положено отклонение движущихся электронов в магнитном поле.

В магнитном поле на движущиеся электроны воздействует сила, вектор которой действует перпендикулярно направлению как магнитной, так и электрической составляющих поля.

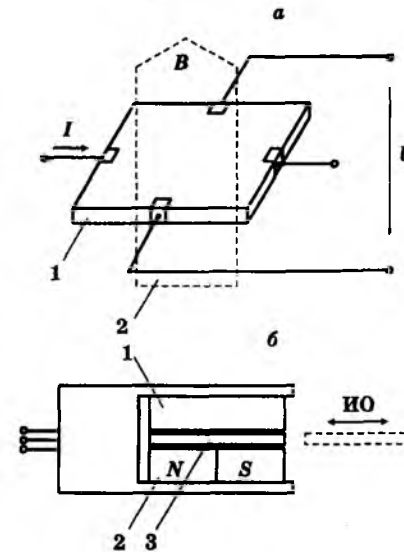


Рис. 5.15. Датчик Холла:  
а — эффект Холла;  
б — датчик Холла

Если внести в магнитное поле с индукцией  $B$  (рис. 5.15, 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.

Датчик состоит из постоянного магнита 2, пластины полупроводника 1 (рис. 5.15, б) и интегральной микросхемы. Между пластиной 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 в зазоре находится экран, то магнитные силовые линии замыкаются через экран и на пластинку не действуют. В этом случае разность потенциалов на пластинке не возникает.

**Фотодатчики.** В схемах электроавтоматики широко применяются фотодатчики с отдельной установкой излучателя 1 и приемника 2 (рис. 5.16, а) или совмещенной установкой излучателя 1 и приемника 2 в одном корпусе (рис. 5.16, б), преобразующие энергию света в электрический сигнал. Срабатывание фотодатчика происходит при пересечении светового луча каким-либо предметом.

Фотодатчики используют в схемах защиты, которые обеспечивают отключение установки при попадании в опасную зону обслуживающего персонала, для подсчета деталей, контроля целостности режущего инструмента и т.д. Фотореле разрабатываются на базе фотоэлементов и применяются для управления наружным освещением улиц, площадей, территорий предприятий.

**Реле времени.** В качестве датчиков времени могут использоваться реле времени различной конструкции [7].

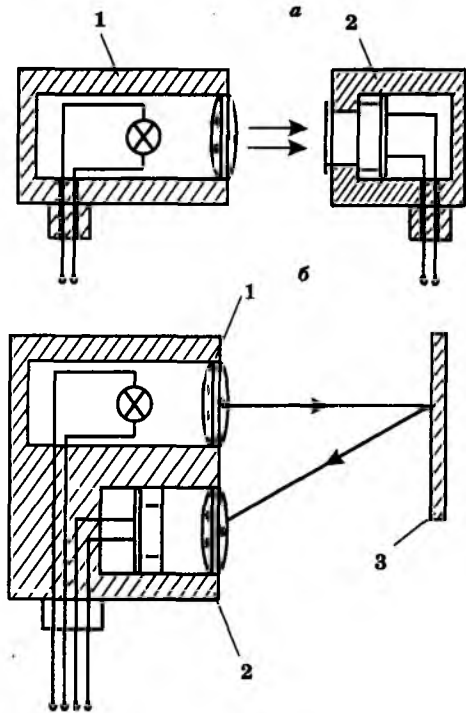


Рис. 5.16. Фотодатчик:  
а — с раздельной установкой излучателя и приемника; б — с излучателем и приемником в одном корпусе

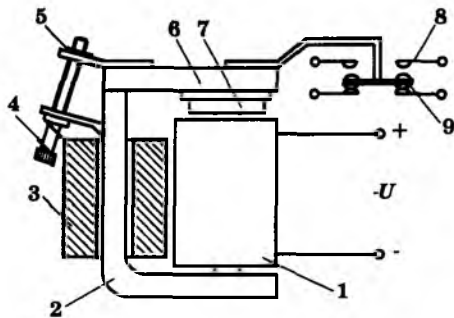


Рис. 5.17. Электромагнитное реле времени

**Электромагнитное реле времени** постоянного тока состоит из неподвижной части магнитопровода 2 (рис 5.17) 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.

Реле включается, как и электромагнитное 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 создает выдержку времени. Спадающий магнитный поток создает в гильзе по закону Ленца ЭДС и ток, направленный таким образом, что поток, создаваемый гильзой, препятствует уменьшению магнитного потока в магнитопроводе. Замедленное уменьшение потока создает выдержку времени при отпуске якоря [6]. Наличие медной гильзы замедляет уменьшение магнитного потока, т.е. якорь на некоторое время удерживается на сердечнике магнитопровода, а затем отклоняется, следовательно, происходит и переключение контактов реле с выдержкой времени.

Выдержка времени регулируется ступенчато количеством или размером гильз, насаженных на магнитопровод, а также размерами немагнитной прокладки 7 определенной толщины, закрепленной 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 затянута пружина, тем больше выдержка времени и наоборот.

Выпускаются несколько типов электромагнитных реле времени. Реле РЭВ 811...РЭВ 818 обеспечивают выдержку времени 0,25...5,5 с. Изготавливают с катушками, рассчитанными на напряжение постоянного тока 12, 24, 48, 110, 220 В.

**Пневматическое реле времени** типа РВП 72 (рис. 5.18) 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 (дрессель 14 и выпускной клапан 8). В связи с этим скорость перемещения хвостовика зависит от сечения дресселя, так как через него поступает воздух из воздушной камеры 12 (через отверстие 14) в верхнюю полость диафрагмы. Сечение дресселя регулируется с помощью иглы 13 и гайки 15, причем чем больше сечение дресселя, тем меньше выдержка времени реле. Переключение контактов происходит в тот момент, когда хвостовик опускается в крайнее нижнее положение и рычагом 17 нажимает кнопку переключателя 16.

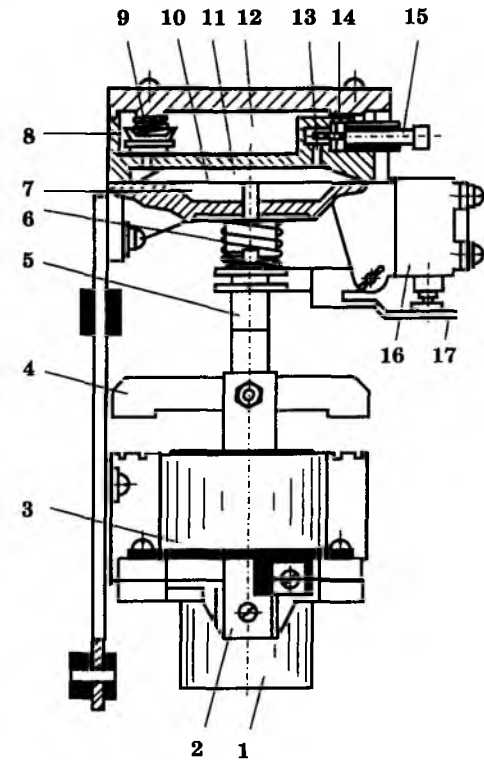


Рис. 5.18. Пневматическое реле времени

Реле РЭВ 811...РЭВ 818 обеспечивают выдержку времени 0,25...5,5 с. Изготавливают с катушками, рассчитанными на напряжение постоянного тока 12, 24, 48, 110, 220 В.

**Электронные реле времени.** В схемах этих реле используются полупроводниковые элементы (транзисторы). Выдержка времени реле определяется временем заряда или разряда конденсаторов.

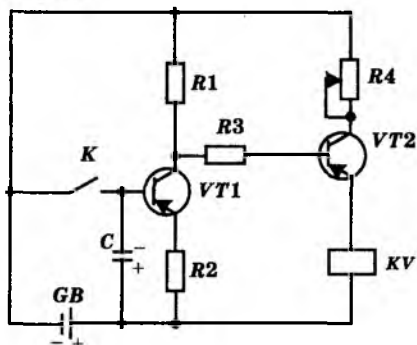


Рис. 5.19. Электронное реле времени

В исходном положении контакт  $K$  замкнут, конденсатор  $C$  будет заряжаться с полярностью, показанной на рис. 5.19. Команда на начало отсчета времени подается при размыкании управляющего контакта  $K$ . После этого конденсатор  $C$  начинает разряжаться через резистор  $R2$  переход эмиттер-база транзистора  $VT2$  отрицательного потенциала. Транзистор откроется, по обмотке реле  $KV$

начнет протекать ток, оно сработает и переключит 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 необходимую выдержку времени реле.

Выпускаются электронные реле времени серий ВЛ46, ВЛ56, которые обеспечивают выдержку времени 0,1...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. Когда ток достигнет уровня срабатывания или отпускания реле, происходит соответствующее переключение контактов в цепи управления двигателем. Реле тока реализуют минимально- и максимально-токовую защиту электродвигателей, систем электрообеспечения промышленных предприятий.

Реле напряжения используются как реле минимального напряжения. При снижении напряжения сети на 50...60 % от номинального  $U_{ном}$  или при полном его исчезновении реле отключается и своими контактами отключает питание системы управления.

### 5.3. БЕСКОНТАКТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

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 частыми включениями и отключениями силовых цепей ненадежная работа контактов коммутирующих аппаратов отрицательно влияет на работоспособность и производительность установки. Бесконтактные электрические коммутирующие аппараты лишены этих недостатков.

Бесконтактными электрическими аппаратами называются устройства, предназначенные для включения и отключения (коммутации) электрических цепей без физического разрыва самой цепи. Принцип действия бесконтактных аппаратов основан на изменении их параметров и тока в электрической цепи при воздействии на них управляющими сигналами. Основой для создания бесконтактных аппаратов служат различные нелинейные элементы: ферромагнитные сердечники с обмотками, полупроводниковые приборы (транзисторы, тиристоры), интегральные микросхемы, оптоэлектронные приборы.

Бесконтактные электрические аппараты по сравнению с контактными обладают более эффективными техническими характеристиками, часто недостижимыми для контактной аппаратуры: достаточно большой срок службы, который мало зависит от частоты включения; значительно меньшая зависимость параметров срабатывания от механических возможностей; способность к работе во взрывоопасных и загрязненных средах; бесшумность работы; уменьшенные габариты и масса; высокий уровень унификации и блочность конструкции; технологичность.

**Бесконтактные реле** основаны на использовании нелинейных управляемых сопротивлений — тиристоров. Тиристор находится в открытом состоянии и после снятия управляющего сигнала  $UC$  (рис. 5.20). Чтобы отключить нагрузку от сети нужно закрыть тиристор. Для этого следует отключить анодное напряжение  $U_a$ .

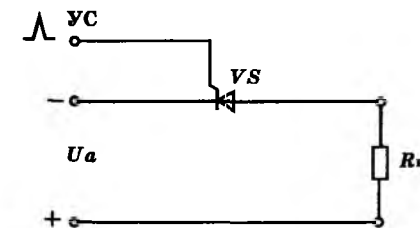


Рис. 5.20. Бесконтактное реле

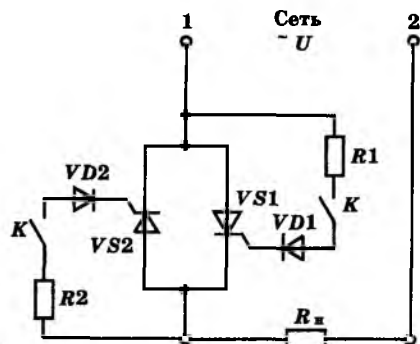


Рис. 5.21. Бесконтактный контактор на тиристорах

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 положительное напряжение через резистор  $R1$  и диод  $VD1$ . 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.

**Тиристорные пускатели.** Для включения, выключения и реверсирования в схемах управления асинхронными электродвигателями разработаны тиристорные трехполюсные пускатели серии ПТ (рис. 5.22). Пускатель трехполюсного исполнения в схеме имеет шесть тиристоров ( $VS1...VS6$ ), включенных по два тиристора на каждый полюс. Включение пускателя осуществляется посредством кнопок  $SB1$  «Пуск» и  $SB2$  «Стоп».

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

К контактным клеммам  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$  подключается трехфазное напряжение сети, а к выводам  $C1$ ,  $C2$ ,  $C3$  подключается трехфазный электродвигатель.

Реверсивные пускатели серии ПТК реализуют защиту электрической сети от коротких замыканий, перегрузки, обрыва фаз. Они изготавливаются в расчете на напряжение 380 В и ток 16 и 40 А.

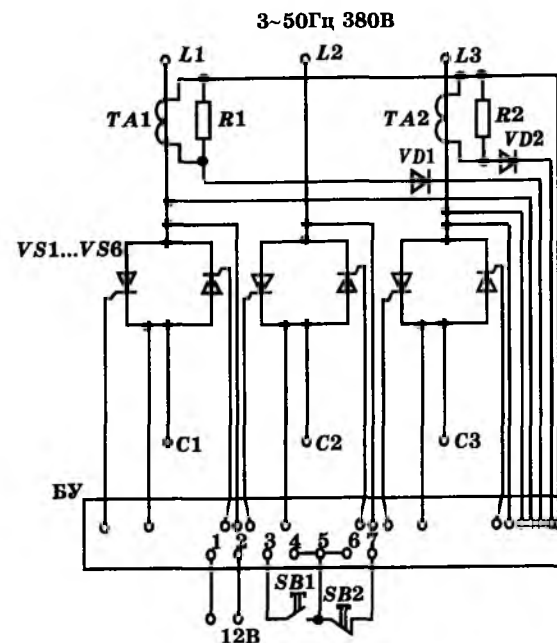


Рис. 5.22. Бесконтактный трехполюсный пускатель на тиристорах серии ПТ

Разработаны пусковые тиристорные устройства серии ПТУ, рассчитанные на ток 63, 100, 160, 250, 400 А. В зависимости от модификации они обеспечивают включение и отключение трехфазных асинхронных электродвигателей, трехфазных активных и активнотортивных нагрузок; включение и динамическое торможение при выключении асинхронных электродвигателей; включение, динамическое торможение при выключении и изменении направления вращения (реверса) асинхронных электродвигателей.

#### 5.4. БЕСКОНТАКТНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

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

В некоторых схемах логическая взаимосвязь объединяет несколько элементов. На рис. 5.23 приведены схемы включения реле. Необходимым условием включения реле  $K$  является одновременное замкнутое состояние контактов  $K1$  и  $K2$  (рис. 5.23, а), а для включения реле  $K$  в схеме (рис. 5.23, б) достаточно замыкания  $K1$  или  $K2$ . В первом случае выполняется логическая связь И, во втором логическая связь ИЛИ.



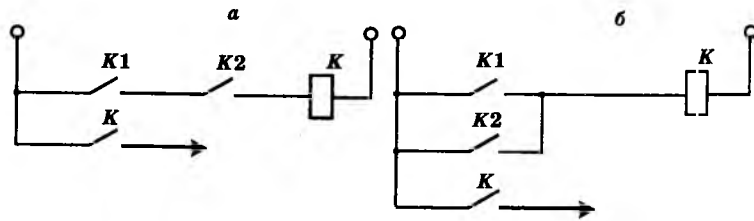


Рис. 5.23. Схемы включения реле:  
 а — при замыкании контактов  $K1$  и  $K2$ ;  
 б — при замыкании контактов  $K1$  или  $K2$

В основу логических элементов положены наиболее часто встречающиеся в электрических схемах логические связи. Логические элементы получили свои названия на основе осуществляемых ими логических связей. 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 его 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 используются в схемах управления в качестве промежуточных элементов. Они выполняют различные элементарные операции, которые позволяют получать необходимую 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, а цифра 0 — разомкнутое. Для бесконтактного логического элемента цифра 1 указывает на наличие напряжения на его выходе, а цифра 0 — на отсутствие напряжения. Так же обозначаются и входные сигналы логических элементов буквой  $X$ , а выходные —  $Y$ . Условные обозначения логических функций, формулы и их релейные аналоги приведены в табл. 5.2.

Логические функции независимых переменных

Функция	Формула	Условное обозначение	Релейный аналог
Логическое сложение (ИЛИ)	$Y = X1 + X2$	$X1 \begin{array}{ c} 1 \\ \hline \end{array} X2 \text{---} Y$	
Логическое умножение (И)	$Y = X1X2$	$X1 \begin{array}{ c} \& \\ \hline \end{array} X2 \text{---} Y$	
Инвертор (НЕ)	$Y = \overline{X1}$	$X1 \begin{array}{ c} 1 \\ \hline \end{array} \text{---} Y$	
ИЛИ — НЕ	$Y = \overline{X1 + X2}$	$X1 \begin{array}{ c} 1 \\ \hline \end{array} X2 \text{---} Y$	
И — НЕ	$Y = \overline{X1X2}$	$X1 \begin{array}{ c} \& \\ \hline \end{array} X2 \text{---} Y$	

**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.

Логические функции можно реализовать на полупроводниковых элементах диодных, транзисторных или диодно-транзисторных в обычном или интегральном исполнении. В своей основе они имеют простейший однокаскадный усилитель (модуль), собранный по схеме с общим эмиттером [7].

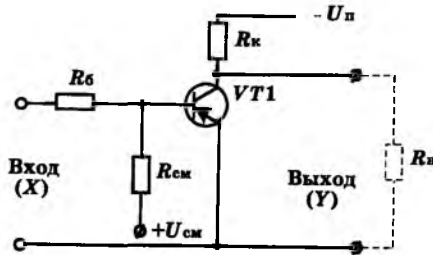


Рис. 5.24. Модуль транзисторного логического элемента

нагрузке  $R_n$ ) напряжение равно напряжению питания  $-U_n$  ( $Y=1$ ). При поступлении на выход усилителя входного сигнала отрицательной полярности ( $X=1$ ) транзистор открывается (переходит в режим насыщения), и напряжение на его выходе становится близким к нулю ( $Y=0$ ). Такой транзисторный усилитель выполняет логическую операцию НЕ. Логические элементы выпускаются в составе серии «Логика И», в которой используются интегральные микросхемы серий К155 и К511.

Базовым элементом серии «Логика И» является функциональный элемент И — НЕ, управляемый нулевым входным сигналом. Эти же элементы при соответствующем соединении могут выполнять и логические функции ИЛИ, ИЛИ — НЕ.

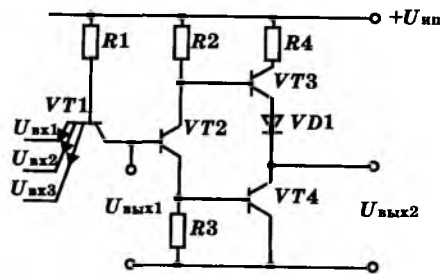


Рис. 5.25. Базовый элемент серии «Логика И»

На рис. 5.24 представлена схема модуля транзисторного логического элемента. Она работает следующим образом. В исходном положении схемы, когда входной сигнал отсутствует ( $X=0$ ), транзистор  $VT1$  заперт положительным напряжением смещения  $+U_{см}$  (состояние отсечки транзистора), и на выходе усилителя (при на-

Базовый элемент серии «Логика И» (рис. 5.25) имеет многоэмиттерный транзистор  $VT1$  и три транзистора  $VT2 - VT4$  типа  $n-p-n$ . Если на все входы схемы — эмиттеры транзистора  $VT1$  — поданы положительные входные сигналы  $U_{вх}=1$ , то он будет открыт и на его выходе будет напряжение  $U_{вых}=1$ . Если с одного из выходов транзистора  $VT1$  снять сигнал ( $U_{вх}=0$ ) или

подать низкий положительный потенциал, то транзистор закроется и  $U_{вых}=0$ . Таким образом, каскад на транзисторе  $VT1$  осуществляет операцию И, усилитель на транзисторах  $VT2 - VT4$  — инвертирование сигнала  $U_{вых}$  (функция НЕ) и обеспечивает устойчивую работу первого каскада.

В состав серии «Логика И» кроме логических элементов И — НЕ входят элементы согласования, времени и усилители.

Элементы согласования служат для связи логических элементов с другими электрическими аппаратами схем управления электроприводов — кнопками, выключателями, реле, датчиками и т.д.

Элементы времени в составе серии «Логика И» обеспечивают выдержки времени 0,01...10 с.

Усилители предназначены для управления по сигналам логических элементов исполнительными механизмами, которые потребляют мощность до нескольких десятков ватт. Они выполняются на мощных транзисторах.

## 5.5. МАГНИТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Магнитный усилитель (МУ) представляет собой электромагнитное устройство с управляемой индуктивностью, которое служит для регулирования тока в цепи нагрузки посредством подмагничивания ферромагнитных сердечников постоянной магнитодвижущей силой (МДС).

Магнитные усилители позволяют плавно регулировать ток, напряжение или мощность в электрической цепи переменного тока, мощность которой значительно больше мощности цепи управления.

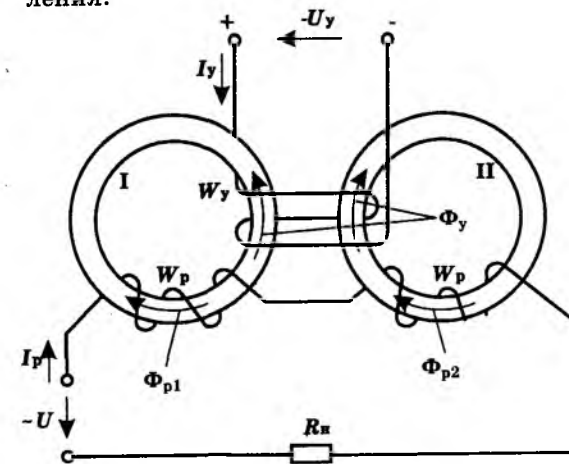


Рис. 5.26. Схема магнитного усилителя

Простейший магнитный усилитель (рис. 5.26) состоит из двух дросселей, имеющих по одной рабочей обмотке  $W_p$ , которые подключены на переменное напряжение, одну или несколько обмоток подмагничивания  $W_y$ , которые охватывают обычно оба магнитопровода. Магнитопровод может быть тороидальным, П- и Ш-образным.

Две половины рабочей обмотки  $W_p$  соединяются между собой и с нагрузкой и с нагрузкой  $R_n$  последовательно или параллельно, но обязательно так, чтобы переменные магнитные потоки  $\Phi_{p1}$  и  $\Phi_{p2}$  пронизывали обмотки подмагничивания в противоположных направлениях и не индуцировали в них переменные ЭДС. Для этого управляющая обмотка  $W_y$  располагается таким образом, что охватывает оба магнитопровода или средний стержень Ш-образного магнитопровода, а обмотка переменного тока  $W_p$  разделена на две одинаковые части, которые расположены на крайних стержнях и соединены последовательно согласно. При таком включении переменные составляющие магнитного потока направлены противоположно, поэтому результирующий переменный поток в нем равен нулю и переменная ЭДС в управляющей обмотке не наводится.

Основной характеристикой магнитного усилителя является коэффициент усиления  $K_y$  — отношение приращения выходной мощности к вызвавшему его приращению входной мощности:

$$K_y = \Delta P_p / \Delta P_y = I_p^2 R_n / I_y^2 R_y,$$

где  $I_p$ ,  $I_y$  — ток в рабочей и управляющей обмотках, А;  $R_n$ ,  $R_y$  — сопротивление нагрузки и сопротивление управляющей цепи, Ом.

Магнитный усилитель работает следующим образом. При отсутствии постоянного тока в управляющей цепи  $W_y$  ферромагнитный сердечник магнитно не насыщен, поэтому индуктивное сопротивление рабочей обмотки  $W_p$  велико, а ток  $I_p$  в рабочей обмотке относительно мал. При подаче сигнала на управляющую обмотку  $W_y$  сердечник насыщается, в результате индуктивное сопротивление рабочей обмотки  $W_p$  снижается, а ток в рабочей цепи возрастает. Благодаря этому увеличиваются мощность и напряжение на нагрузке  $R_n$ .

Магнитные усилители получили широкое распространение в автоматике благодаря ряду достоинств: практически неограниченный срок службы, отсутствие подвижных деталей, нечувствительность к тряске, влагостойкость, стабильность характеристик и малый их разброс, постоянная готовность к работе, высокие КПД и коэффициент усиления, а также возможность суммирования многих электрически не связанных сигналов управления.

## ГЛАВА 6. НЕИСПРАВНОСТЬ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

### 6.1 ВИДЫ И ПРИЧИНЫ ИЗНОСА

В процессе эксплуатации электрические аппараты изнашиваются и устаревают. Износ аппаратов по своему характеру и вызывающим его причинам можно условно подразделить на механический, электрический и моральный.

*Механический* износ электрических аппаратов является, как правило, следствием длительных постоянных или переменных механических воздействий на отдельные части или детали, в результате которых изменяются их первоначальные формы и качества. В электрических аппаратах механический износ выражается в истирании (абразивном износе) шарнирных и трущихся поверхностей деталей, изменении первоначальной формы контактов, ослаблении или поломке пружин механизма.

*Электрическим* износом является невосстанавливаемая потеря электроизоляционными материалами электрических аппаратов изоляционных свойств. Изнашиваются, например, изоляция проводов обмоток катушек, изолирующие детали аппаратов. Электрический износ изоляции чаще всего является следствием длительной работы аппаратов, воздействия на изоляцию недопустимо высоких температур или химически агрессивных веществ, что приводит к витковым замыканиям в обмотках и катушках, пробоем изоляции и появлению потенциалов на частях и корпусах электрических аппаратов, которые нормально не находятся под напряжением. Таким образом, это повреждения, устранение которых требует капитального ремонта или замены всего аппарата.

*Моральный износ* — это результат старения вполне исправного резервного или работающего аппарата, дальнейшая эксплуатация которого является нецелесообразной из-за создания нового, технически более совершенного и экономичного аппарата такого же назначения. Моральный износ электрических аппаратов является вполне закономерным явлением, которое обусловлено развитием науки и непрерывным техническим прогрессом. Эксплуатация морально устаревших аппаратов может стать экономически целесообразной, если при капитальном ремонте их конструкцию и технические параметры приблизить путем модернизации к аналогичным по назначению, но наиболее современным электрическим аппаратам [8].

В результате эксплуатации, аварии, перегрузок и естественного износа электрические аппараты теряют свою работоспособ-

ность. Чтобы обеспечить их надежную работу и коммутационную способность, т.е. способность аппарата производить определенное количество включений и отключений электрической цепи при сохранении работоспособности, аппараты необходимо регулярно обслуживать и ремонтировать.

Ремонт — это комплекс операций по восстановлению исправности и работоспособности электрических аппаратов, а следовательно, восстановления ресурса всего электротехнического устройства.

Под операцией ремонта понимают законченную часть ремонта, выполняемую на одном рабочем месте исполнителями определенной специальности (например, очистка, разборка, изготовление обмоток и т.п.).

Надежность, бесперебойность и безопасность работы электрооборудования технологических установок, станков, механизмов, машин, электрического освещения, систем электроснабжения цеховых участков промышленных предприятий и организаций могут быть обеспечены благодаря правильной системе ремонта электрических установок эксплуатирующей организацией. Такой системой является планово-предупредительный ремонт (ППР). Он представляет собой форму организации ремонта, состоящую из комплекса организационно-технических мероприятий, которые обеспечивают выполнение технического обслуживания и профилактического ремонта.

По графику ППР проводятся текущий и капитальный ремонты. В период между ремонтами осуществляется техническое обслуживание электрооборудования и аппаратов, которое представляет собой комплекс операций по поддержанию работоспособности или исправности устройства.

Работы по техническому обслуживанию электрических аппаратов или устройств включают очистку от пыли и грязи, смазку трущихся частей, ликвидацию видимых повреждений, затяжку крепежных деталей, очистку контактов от грязи и наплывов, проверку кожухов, оболочек, замену перегоревших плавких вставок предохранителей, проверку работы сигнальных устройств.

В типовой объем работ капитального ремонта входят операции, связанные с полной разборкой аппарата. При капитальном ремонте производят разборку аппарата, отбраковывают и ремонтируют поврежденные детали, выполняют перемотку или замену обмоток, ремонт магнитопроводов и другие работы. Капитальный ремонт совмещают с капитальным ремонтом электрооборудования или электроустановки. После капитального и текущего ремонта электрические аппараты подвергаются испытаниям по установленной программе [1].

## 6.2. РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**Рубильники.** Повреждение ножей рубильников в виде деформации исправляют рихтовкой, которую выполняют молотком с медным бойком на рихтовочном верстаке. Изгиб ножей после ремонта не должен превышать 0,2 мм по всей длине ножа. Для проверки величины изгиба к плоскости отрихтованного ножа рубильника прикладывают ребром стальную линейку. Щель между ножом и линейкой замеряют щупом.

Обнаруженные следы копоты устраняют протирочной ветошью и шлифовкой стеклянной шкуркой до полного устранения. После этого проверяют целостность пружин, стягивающих подвижные контакты. Поврежденные пружины заменяют новыми заводскими. Проверяют состояние вала, привода и рукояток. Шарнирные детали привода и ось ножей смазывают смазкой ЦИАТИМ-201 и собирают рубильник. После сборки проверяют, чтобы ножи одновременно входили в губки, медленно включая и выключая привод рубильника. Плотность вхождения ножей в контактные стойки проверяют щупом толщиной 0,05 мм, который должен проходить не более чем  $1/3$  величины контактной поверхности. Добиться нужной плотности можно, подгибая медные контакты [9].

**Пакетные выключатели.** У таких выключателей многие детали при выходе из строя не подлежат ремонту, их следует заменить новыми. Это относится к пружинам, которые постоянно находятся в напряженном состоянии и часто выходят из строя, рукояткам, скобам, неподвижным контактам при оплавлении или обгорании. Если подвижные контакты имеют износ, т.е. толщину меньше первоначальной, их заменяют новыми.

Разборку выключателей для ремонта контактов начинают со снятия кольца верхнего пакета, затем вынимают из пакета подвижные и неподвижные контакты в сборе с дугогасительной шайбой. Сборку выключателя производят в обратной последовательности.

**Универсальный переключатель.** Для ремонта этого переключателя (см. рис. 2.6) необходима полная разборка, которую проводят в такой последовательности: отворачивают винт рукоятки и снимают в сборе с фланцем; отворачивают гайки ее шпилек, снимают пружинные шайбы, заднюю крышку, пружинный упор, фиксатор, пружину и штифт; извлекают боковые крышки и шпильки; снимают с вала пакеты в сборе, шайбу и ограничитель; извлекают из пакетов неподвижные 1 и подвижные 6 контакты. Проверяют состояние подвижных и неподвижных контактов, подгоревшие и изношенные заменяют. Контактные соединения должны быть плотно затянуты. Изоляция токоведущих элементов не должна иметь механических повреждений. Рукоятку на оси

переключателя следует хорошо закрепить, зафиксировать в различных положениях, переключать через одно или несколько положений нельзя. Проверяют износ контактов, кулачков шайбы, скоб привода подвижного контакта. При сильном износе их заменяют.

После ремонта и замены отдельных деталей переключатель собирают. Трущиеся части смазывают смазкой ЦИАТИМ-201. Сопротивление изоляции между неподвижными контактами каждого пакета и смежных пакетов проверяют мегаомметром на напряжение 500 В. Норма сопротивления изоляции должна быть не менее 1 МОм [1].

**Контроллер.** Выпускаются контроллеры ККТ, предназначенные для непосредственного управления электрическими двигателями постоянного и переменного тока, а также контроллеры КПП для дистанционного управления катушками электромагнитов, реле, контакторов и других аналогичных устройств. Эти контроллеры имеют ручное управление и по конструкции являются кулачковыми (см. рис. 2.9).

Корпус и крышка контроллера металлические, поэтому при осмотрах необходимо проверить заземление крышки, порядок замыкания контактов, сопротивление изоляции токоведущих частей, которое должно быть не менее 10 МОм. Резьбовые соединения должны быть плотно затянуты. Выявленные при осмотре изношенные детали заменяют. Смещение подвижных контактов 1 относительно неподвижных 3 допускается не более 1 мм.

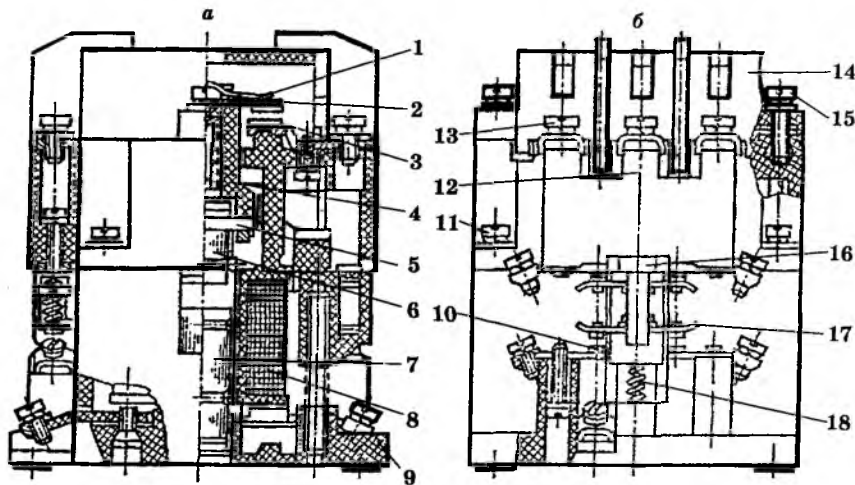


Рис. 6.1. Электромагнитный пускатель серии ПМЕ:  
а — разрез; б — общий вид

**Электромагнитные пускатели.** Для ремонта магнитных пускателей серии ПМЕ с прямоходовой магнитной системой (рис. 6.1) откручивают винты 15 крепления крышки пускателя и снимают ее, откручивают винты 11 и снимают дугогасительную камеру 14, откручивают винты крепления корпуса пускателя к основанию 9 и снимают с основания корпус с траверсой. Снимают катушку с сердечника и при необходимости сдают на перемотку. Осматривают контакты и для чистки или замены вынимают из контактодержателя. Пинцетом осторожно поворачивают контакт на  $45...60^\circ$  вдоль продольной оси и вынимают вместе с плоской пружиной 1.

Для ремонта магнитопровода дополнительно откручивают винты крепления пускателя к кожуху, снимают отдельно ярмо 6 с траверсой 4 от корпуса, вынимают ось 5, снимают ярмо и пружину 18 с траверсы. Для полной разборки необходимо снять с основания 9 вспомогательные контакты 10 в сборе с мостиками и две пружины 18. Откручивают винты 13 крепления неподвижных контактов и снимают контакты. Откручивают винты крепления вспомогательных контактов и снимают их. После ремонта или замены дефектных деталей пускатель собирают в такой последовательности: устанавливают и закрепляют винтами неподвижные 3 и вспомогательные 10 контакты, устанавливают в гнездо основания 9 скобу, накладывают изгибом вверх амортизационную пружину и устанавливают сердечник 7. Надевают на сердечник катушку 8 так, чтобы выводные контакты совпали с токоподводящими зажимами. Устанавливают в основание возвратные пружины 18 и толкатель 16 в сборе с мостиком 17. Укладывают в гнездо траверсы 4 амортизационную пружину ярма 6, прижимая ярмо к траверсе, и вставляют ось 5. Устанавливают траверсу на основание 12. Продевают в поводки подвижных контактов 2 мостики с пружинами 1. Устанавливают основание 12 с траверсой в сборе и закрепляют его винтами. Прикрепляют пускатель винтами к монтажной плите или кожуху. При ремонте магнитного пускателя поворотного типа серии ПАЕ-311 (рис. 6.2) производят его частичную разборку. Упор 13 поворачивают на  $90^\circ$ , освобождая возвратную пружину 11. Снимают две защелки, втулки и ось 9, поднимают траверсу в сборе, снимают крышку 17 и камеру 10, вынимают из камеры дугогасительные скобы 18. Снимают защелку, ярмо 7 и пластину 8. Откручивают два винта и отсоединяют питающие проводники катушки. Снимают защелку 5 и катушку 4. Проверяют контактные мостики 1, которые очищают от следов обгорания и брызг металла. Осматривают каркас катушки, который не должен иметь сколов и трещин. Проверяют обмотку катушки на обрыв проводов, обгорание выводных проводов, нарушение изоляции и витковых замыканий. Обнаруженные дефекты устраняют. Затем проверяют раствор, провал и усилия нажатия главных и вспомогательных контактов.

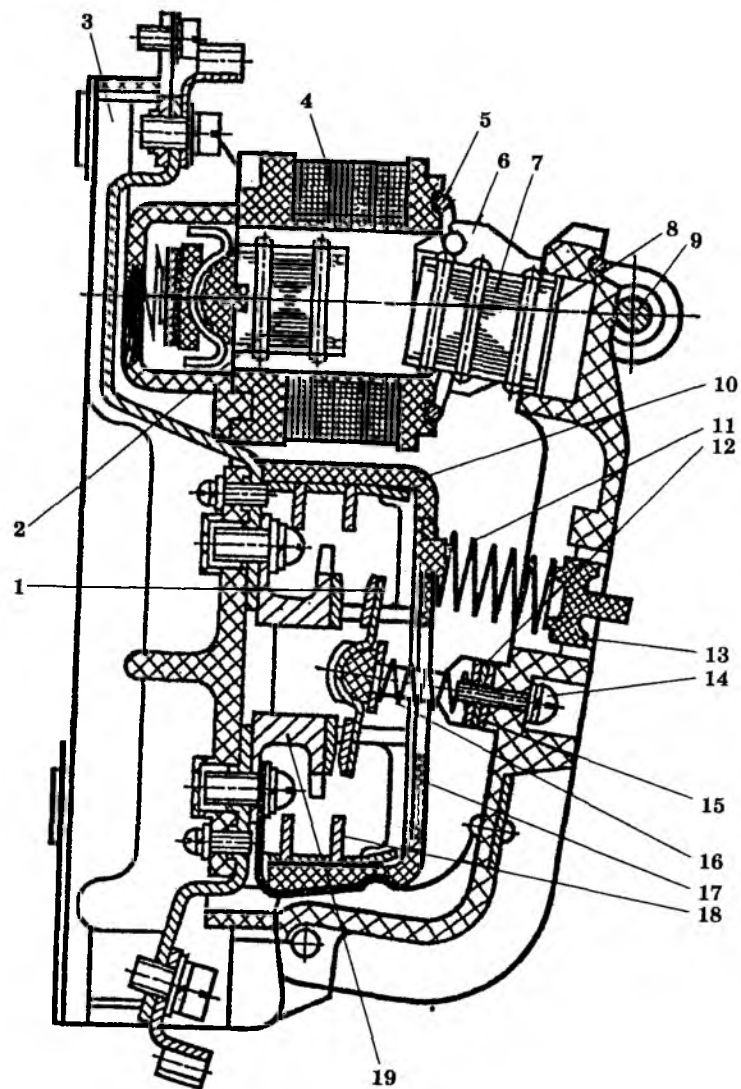


Рис. 6.2 Электромагнитный пускатель серии ПАЕ

**Контактор переменного тока.** В контакторах (рис. 6.3) чаще изнашиваются контакты, дугогасительные устройства, катушки электромагнита и подвижная система.

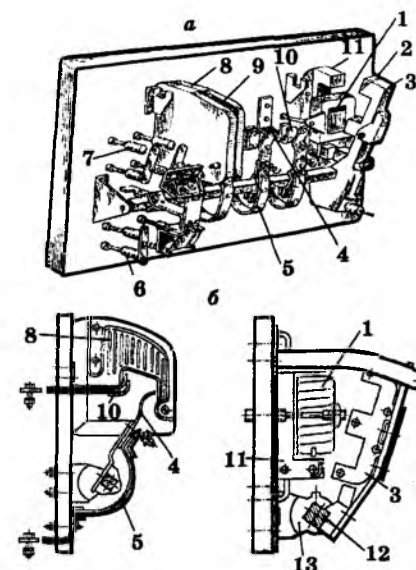


Рис. 6.3. Контактор переменного тока:  
*a* — общий вид; *b* — вид сбоку  
 (1 — электромагнитная катушка;  
 2 — короткозамкнутый медный виток;  
 3 — ярмо; 4 — подвижный контакт;  
 5 — гибкая связь; 6 — размыкающие контакты; 7 — замыкающие контакты;  
 8 — дугогасительная камера;  
 9 — стальные пластины;  
 10 — неподвижные контакты;  
 11 — сердечник; 12 — приводной вал;  
 13 — подшипник)

они могут возникать из-за повреждения короткозамкнутого витка, уменьшения площади соприкосновения сердечника и ярма в результате ослабления их крепления. Их устраняют подтягиванием крепежных деталей.

При обгорании или появлении брызг металла на поверхности контактов нужно зачистить их и протереть хлопчатобумажной салфеткой, смоченной в бензине. Если контакты изношены по толщине меньше чем на 50 %, то их зачищают с помощью плоского надфиля, если износ более 50 %, то контакты заменяют новыми. После окончания ремонта щуп толщиной 0,05 мм должен проходить при сомкнутых контактах не более чем на 25 % контактной поверхности.

В подвижной системе следят за состоянием гибкого соединения, которое состоит из пакета тонких медных пластин толщиной 0,2...0,5 мм. Поврежденные пластины заменяют новыми тех же размеров.

Неисправности магнитной системы характеризуются шумом (гудением),

### 6.3. РЕМОНТ ВОЗДУШНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

**Автоматический выключатель серии АП50.** Полная разборка выключателя производится, если повреждены контакты и необходима их замена. Частичная разборка выполняется, когда нужно очистить внутреннюю поверхность детали от копоти. Частичная разборка производится в такой последовательности: откручивают винты крепления крышки к основанию 1 (рис. 6.4) и снимают крышку. Снимают дугогасительные камеры. Откручивают винты 7 и снимают неподвижный 5 и подвижный 6 контакты.

После ремонта деталей автоматический выключатель собирают: устанавливают дугогасительные камеры в крышку выключателя, устанавливают и закрепляют винтами неподвижные и подвижные контакты, устанавливают возвратную пружину, закручивают винты 8 для присоединения выводных проводов, надевают крышку с дугогасительными камерами на основание и плотно закрепляют винтами.

**Автоматические выключатели серий АЕ1000, АЕ2000** предназначены для работы без зачистки контактов и смены частей. Встроенный в выключатель расцепитель регулируется на заводе, поэтому при выходе из строя его заменяют новым.

Для ремонта таких выключателей полную разборку выполняют в такой последовательности: откручивают винты, снимают механизм выключения в сборе с подвижными контактами и контактным рычагом, откручивают винты и снимают неподвижный контакт. Осматривают и устраняют дефекты, повреждения контактов, дугогасительных камер и деионных решеток, очищают и смазывают механизм выключателя. Отремонтированный выключатель собирают в обратной последовательности.

**Автоматический выключатель серии АЗ700** (рис. 6.5) рассчитан для работы без смены каких-либо частей в условиях нормальной эксплуатации. Выключатель состоит из корпуса 1, крышки 5, контактной системы 6, 13, 14, механизма управления, дугогасительных камер 4, пламегасителя 3, катушки электромагнитного расцепителя 11, якоря электромагнита 12, зажимов для присоединения проводов 2, трансформаторов тока 10. При ремонте, а также для изменения и регулировки параметров расцепителя необходимо произвести разборку выключателя в следующем порядке: снять крышку 5 и пламегаситель 3, защитный щиток, блок управления 8 или крышку, закрывающую зажимы и крышку выключателя, расцепить рычаг с удерживающей рейкой (для этого нужно осторожно повернуть рейку до момента расцепления ее с рычагом), вынуть дугогасительные камеры 4 с дугогасительной решеткой. Рукояткой 9 блока полупроводниковых расцепителей регулируют параметры расцепителя, сняв предварительно прозрачную пластинку, закрывающую шкалу.

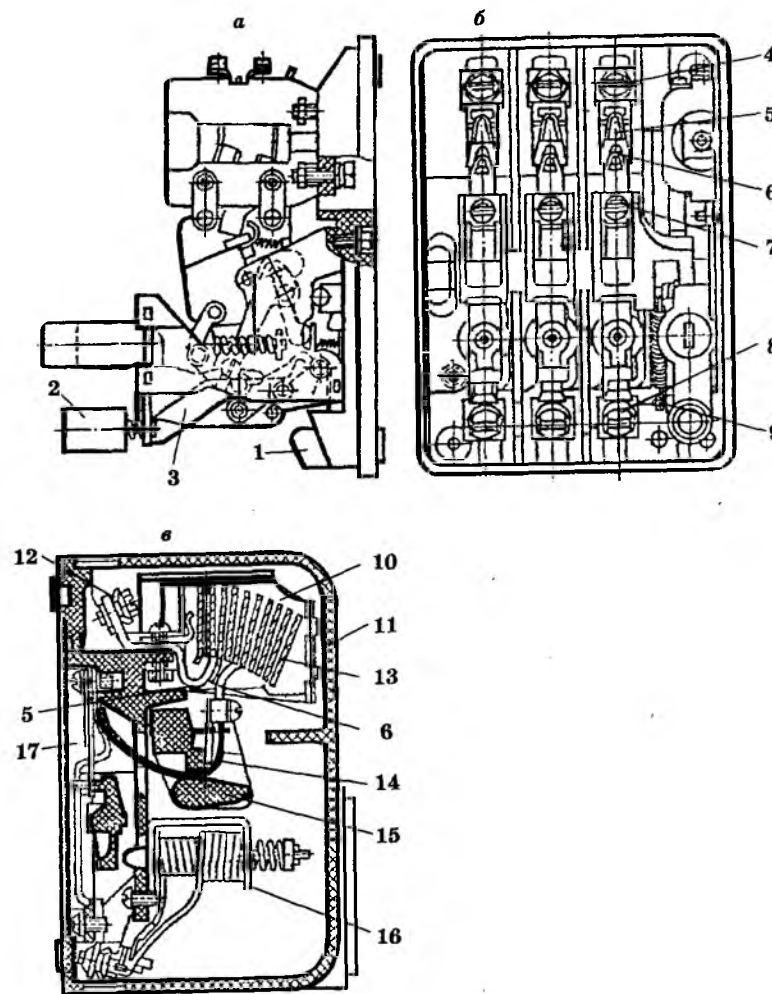


Рис. 6.4. Автоматический выключатель серии АП50:  
*а* — вид сбоку со снятой крышкой; *б* — вид спереди; *в* — общий вид  
 (1 — основание; 2 — кнопка «Стоп»; 3 — рычаг; 4, 7, 8 — винты;  
 5 — неподвижный контакт; 6 — подвижный контакт; 9 — возвратная пружина; 10 — дугогасительная камера; 11 — крышка; 12 — выводы;  
 13 — стальные пластины; 14 — гибкое соединение; 15 — траверса;  
 16 — электромагнитный расцепитель; 17 — тепловой расцепитель)

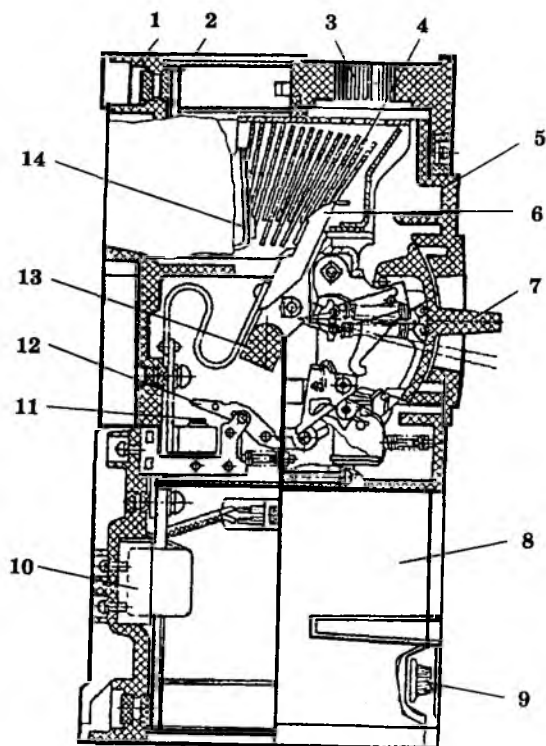


Рис. 6.5. Автоматический выключатель серии АЗ700:

- 1 — корпус; 2 — зажимы; 3 — пламегасители;  
 4 — дугогасительные камеры; 5 — крышка;  
 6, 13, 14 — контактная система; 7 — рукоятка;  
 8 — блок управления; 9 — регулятор;  
 10 — трансформаторы тока; 11 — катушка электромагнитного расцепителя; 12 — якорь расцепителя

**Электромагнитные реле.** Проверку реле начинают с внешнего осмотра: проверяют наличие пломб, целостность кожуха и плотность прилегания его к цоколю, состояние уплотнений.

После снятия кожуха приступают к внутреннему осмотру: очищают детали, проверяют, как затянуты винты, гайки; проверяют состояние пружин, контактов, магнитопровода, надежность внутренних соединений; регулируют механическую часть реле; контакты тщательно очищают и полируют воронилком (пользоваться надфилем или абразивными материалами нельзя).

Сопротивление изоляции измеряют мегаомметром на напряжение 1000 В между токопроводящими частями реле, проверяют уставки. Если обнаружены неустраняемые дефекты, реле заменяют новыми.

**Тепловые реле серии ТРП.** Разборку реле (рис. 6.6) производят в такой последовательности. Отвинчивают винты 3, снимают шайбы, крышку 4 и нагреватель 9. Извлекают из корпуса две пластинки. Снимают пружину 10, ушко 11 и кнопку 5. Снимают пружину 15 и венец 13, 14. Вынимают ось 16, выворачивают винт, снимают скобу и контактный мостик 17. Вывинчивают четыре винта 18, снимают шайбы 19, 20, пластинку 22 и контактные пластины 21, 23. Вывинчивают винты, снимают упор 12, вынимают ось 6, снимают термоэлемент 8 в сборе и охладитель 7. Затем очищают детали от загрязнений. Осматривают и проверяют штангенциркулем износ поверхности контактного мостика, который при износе до 0,5 мм заменяют новым. Термоэлемент заменяют новым, если он выгорел или деформировался термометалл.

После устранения дефектов и сборки реле следует проверить сопротивление изоляции, которое должно быть не менее 10 МОм. Проверяют время срабатывания реле при токе  $1,2 I_{ном}$ , которое не должно превышать 20 мин. Проверяют величину раствора контактов, которые должны быть не менее  $(1 \pm 0,2)$  мм, и усилие нажатия на контактный мостик, которое должно быть не менее 1,80 Н.

**Реле тока РТ-40 и реле напряжения РН.** Проверка реле включает внешний осмотр, при котором производится очистка от пыли, грязи, проверка наличия пломб, маркировка, проверка плотности прилегания кожуха реле к цоколю; внутренний осмотр, при котором проверяют отсутствие пыли и посторонних частиц, осматривают детали, крепление винтов, гаек, неподвижных контактов 6 (см. рис. 4.16), состоящих из заднего гибкого упора, переднего упора и бронзовой пластинки с серебряной напайкой 3.

Проверяют трение работы механизма. Для этого нужно установить указатель на первую уставку шкалы 8 и повернуть якорь 5 в сторону магнитопровода 1. Размыкающие контакты при этом должны разомкнуться, а замыкающие — замкнуться. Отпущенная подвижная система должна четко вернуться в исходное положение.

Определяют надежность фиксации упоров (левый упор к хвостовику 12 якоря 5). Проверяют, надежно ли затянута гайка, обеспечивающая необходимое трение при перемещении указателя 9 по шкале 8. Контактные поверхности (подвижные 3, неподвижные 6) очищают и протирают чистой салфеткой. Пользоваться для этого надфилем, бензином или касаться поверхности



контактов руками запрещается. Ход контактов до замыкания не должен превышать 2,5 мм. Угол поворота контактного мостика определяют упорами 15, имеющимися на ярме. Его можно изменить посредством подгибания упоров. Проверяют целостность катушек 2 и сопротивление изоляции, которая должна быть 500 кОм. Проверяют ток (напряжение) срабатывания, коэффициент возврата, сравнивая полученные данные с заводскими техническими характеристиками.

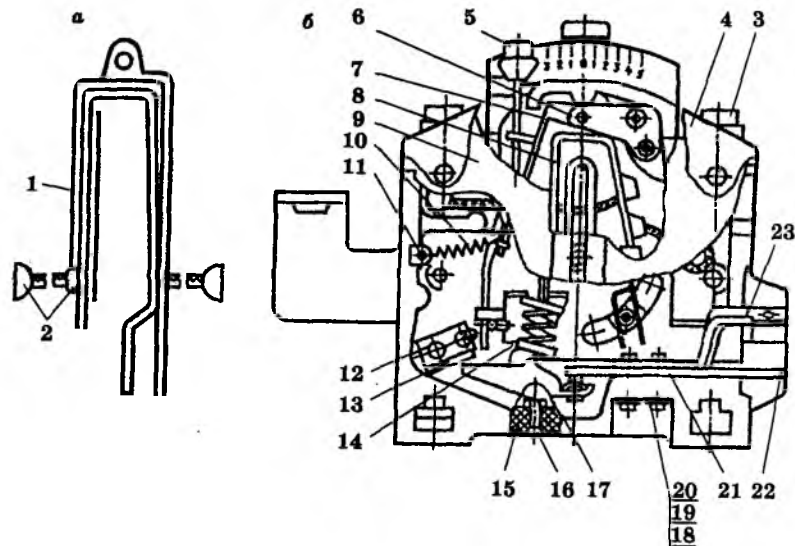


Рис. 6.6. Электротепловое реле серии ТРП:  
а — термобиметаллический элемент; б — общий вид

Для устранения дефектов подвижной системы, а также при отклонениях тока или напряжения более чем на 5 % от номинальных значений реле следует разобрать, соблюдая следующие правила.

Реле устанавливают в строго вертикальном положении и переставляют указатель шкалы влево за начальную уставку. При повороте указателя на 20...30° влево от первой точки шкалы при затирании подвижной системы, загрязнении или неисправности подпятника или концов оси 14 переход подвижного мостика происходит вяло или с рывком. При разборке отсоединяют провода, идущие к неподвижным контактам, откручивают два винта, снимают шкалу и подшкальник. Отпаивают наружный конец спиральной пружины от хвостовика и снимают со стойки подвижную систему. Ослабляют стопорные винты, которые крепят верхнюю и нижнюю полуоси, опускают верхнюю полуось 14, а нижнюю под-

нимают, после чего подвижная система легко вынимается. Откручивают два винта и снимают пружинодержатель 10 с укрепленными на нем указателем и пружиной. Откручивают гайки М5, снимают шкалу и достают из отверстия в пружинодержателе фасонный винт с шестигранной втулкой 11 и укрепленной пружиной.

Осматривают полуоси реле. Стальную шпильку, запрессованную в латунный цилиндр, очищают от пыли и грязи, полируют ее поверхность. Она не должна иметь следов ржавчины, царапин или выбоин. Проверяют соосность латунного цилиндра и стальной шпильки. Для этого латунный цилиндр зажимают в патроне ручной дрели и при вращении наблюдают за биением шпильки.

Очищают отверстия для полуосей в латунной П-образной скобе. Полочка ярма должна быть параллельна П-образной скобе и иметь ровный изгиб на всем своем протяжении. Проверяют надежность крепления гасителя колебаний 13 к латунной скобе и изоляционной колодки 7 с подвижным контактом к ярму; надежность закрепления внутреннего конца спиральной пружины в шестигранной втулке. Подвижные и неподвижные контакты очищают кусочком дерева твердых пород или кожей. Подгоревшие или имеющие выбоины контакты зачищают и полируют воронилом. Пользоваться надфилем, наждачной бумагой или другими абразивными материалами нельзя. Недопустимо промывать контакты ацетоном или бензином, так как они образуют плохо проводящий налет. После сборки и испытаний следует отрегулировать уставку реле по току и уставку по напряжению для реле напряжения.

**Реле времени серии ЭВ.** Внешний и внутренний осмотр и состояние контактов производят, как и для реле серий РТ и РН.

Траверса 10 (рис. 6.7) подвижных контактов 20 должна быть надежно закреплена стопорными винтами 23. На выходной оси 6 часового механизма 16...18 должны быть закреплены фиксирующими винтами колодки на подвижных контактах. Зазор между ярмом и заводным рычагом часового механизма при прижатом ярме и замкнутых на максимальной уставке контактах должен быть 0,5...1 мм. Зазор между мгновенными контактами 19 должен быть не менее 1,5 мм. Регулируют зазор подгибанием неподвижных контактных пластинок. Прогиб пластинки переключающего мгновенного контакта должен быть таким, чтобы после замыкания контактов ярмо проходило еще 0,8...1,2 мм, что соответствует контактному нажатию 0,12...0,18 Н. Провал неподвижных замыкающих контактов с выдержкой времени должен быть на любой уставке не менее 0,4 мм. Возвратная пружина должна четко возвращать часовой механизм до упора. В случае необходимости регулируют натяжение пружины.

Выдержка времени реле устанавливается подбором расстояния между начальным положением подвижного 20 и неподвижного 21 контактов или проскальзывающими контактами 22, которые для измерения уставок можно перемещать по шкале. Проверяют работу мгновенных контактов 19.

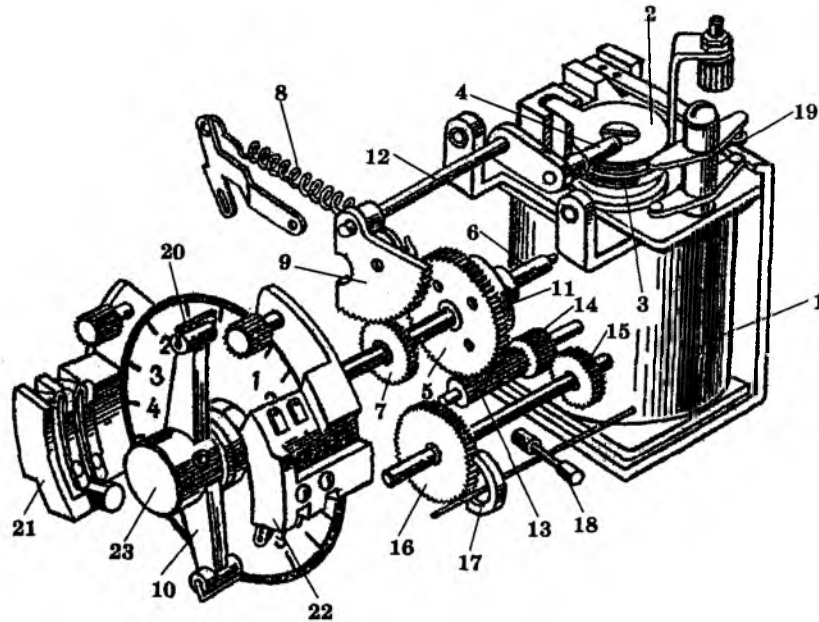


Рис. 6.7. Реле времени ЭВ-200

Затем проверяют электрические характеристики реле. Измеряют сопротивление изоляции обмотки при опущенном и втянутом яре (нажимают на хвостовик яра). Проверяют электрическую прочность изоляции и работу часового механизма. Время срабатывания реле определяют по электрическому секундомеру. При проверке и наладке реле пользуются заводской документацией (техническое описание, инструкция по эксплуатации).

## ГЛАВА 7. ИСПОЛНЕНИЕ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

### 7.1. СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ И ИСПОЛНЕНИЕ АППАРАТОВ

Степень защиты персонала от прикосновения к токоведущим и движущимся частям электрических аппаратов и электрооборудования, которое заключено в оболочку от воздействия окружающей среды, обозначаются буквами *IP* (международная система *International Protection*) и двумя цифрами. Например, *IP00*, *IP01* и т.п.

Если нет необходимости в одном из видов защиты, в условном обозначении можно использовать знак *X* вместо обозначения вида защиты, который в данном изделии не нужен или испытание которого не производится, например *IPX2*.

Первая цифра обозначает степень защиты персонала от соприкосновения с находящимися под напряжением частями или приближения к ним и от соприкосновения с движущимися частями, а также степень защиты изделия от попадания внутрь твердых посторонних тел (табл. 7.1). Вторая цифра обозначает степень защиты изделия от попадания воды (табл. 7.2).

Условные обозначения степеней защиты оболочек электрических аппаратов напряжением до 1 кВ приведены в табл. 7.3.

Электрические аппараты и электрооборудование в зависимости от условий 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 7.1

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

Цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
	2	3
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от твердых тел размером более 50 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки участка поверхности человеческого тела, например руки, и твердых тел размером 50 мм
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

Продолжение табл. 7.1

1	2	3
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 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	Пыль может проникнуть внутрь оболочки, не нарушая работы изделия
6	Пыленепроницаемость	Проникновение пыли предотвращено полностью

Таблица 7.2

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

Цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
1	2	3
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 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	Брызги воды, попадающие на оболочку в любом направлении, не должны 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	Вода при волнении не должна попадать внутрь оболочки в количестве, достаточном для повреждения изделия

Продолжение табл. 7.2

1	2	3
7	Защита при погружении в воду	Вода не должна проникать внутрь оболочки, погруженной 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

Категория размещения электрических аппаратов:

- для работы на открытом воздухе;
- для работы в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе;
- 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 значительно меньше, чем на открытом воздухе;
- для работы в помещениях с искусственно регулируемыи климатическими условиями (например, в закрытых отапливаемых и вентилируемых производственных и других помещениях);
- для работы в помещениях с повышенной влажностью (например, в неотопливаемых и невентилируемых помещениях под землей, в помещениях, где возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолках).

Таблица 7.3

**Условные обозначения степеней защиты оболочек электрических аппаратов напряжением до 1 кВ**

Степень защиты от прикосновения и попадания посторонних тел	Степень защиты от проникновения воды								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	IP00								
1	IP10	IP11	IP12						
2	IP20	IP21	IP22	IP23					
3	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34				
4	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44				
5	IP50	IP51			IP54	IP55	IP56		
6	IP60					IP65	IP66	IP67	IP68

## 7.2. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В СХЕМАХ И ЧЕРТЕЖАХ

### 7.2.1. Графические обозначения в схемах

Электрические аппараты и элементы в схемах электротехнических устройств изображают с помощью условных, графических обозначений, установленных стандартами ЕСКД или построенных на их основе. При необходимости применяют нестандартизованные условные графические обозначения. Стандартизованные или созданные на основе стандартизованных графические обозначения на схемах не поясняют; нестандартизованные обозначения следует пояснять на свободном поле схемы.

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

Кроме условных графических обозначений в схемах соответствующих типов можно использовать другие графические обозначения: 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, графические обозначения в схеме должны иметь такие же размеры, как и их изображения в стандартах. При выполнении иллюстративных схем больших форматов все условные графические обозначения можно пропорционально увеличивать по сравнению с приведенными в стандартах [10].

В схеме можно увеличивать размеры обозначений отдельных элементов, если нужно графически выделить особое или важное значение элемента, а также помещать внутри обозначения предусмотренные стандартами квалифицирующие символы или дополнительную информацию. Для повышения компактности схемы допускается пропорционально уменьшать размеры графических обозначений, учитывая при этом возможности использования техники репродуцирования и микрофильмирования.

Для лучшего визуального восприятия схемы расстояние между двумя соседними линиями в любом графическом обозначении должно быть не менее 1,0 мм. Размеры и толщина линий графических обозначений должны быть одинаковыми во всех

схемах одного типа на данное изделие. Графические обозначения следует выполнять линиями той же толщины, что и линии связи.

Использование условных графических обозначений на схеме должно обеспечивать выполнение наиболее простого чертежа схемы с минимальным количеством изломов и пересечений линий электрической связи. Условные графические обозначения рекомендуется изображать в положении, которое указано в стандартах, или можно повернуть на угол, кратный  $90^\circ$  (рис. 7.1), за исключением случаев, оговоренных в стандартах. Для упрощения начертания схем или более наглядного представления отдельных цепей допускается поворачивать условные графические обозначения на угол кратный  $45^\circ$  по сравнению с их изображениями в стандарте (рис. 7.1). Повороты и зеркальные изображения некоторых условных графических обозначений искажают их смысл, например условные графические обозначения двоичных логических элементов, различных символов. Такие обозначения должны быть выполнены в том положении, в котором они приведены в соответствующих стандартах (рис. 7.1).

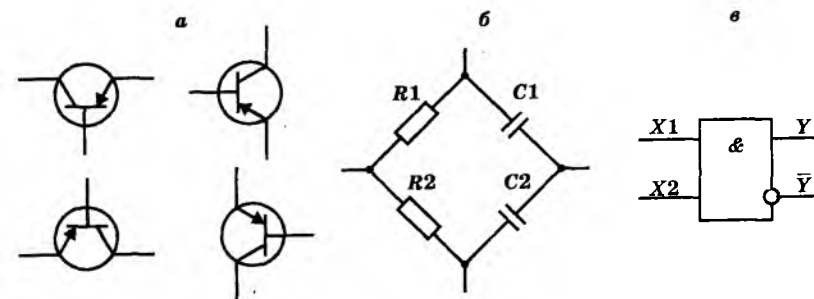


Рис. 7.1. Варианты изображения электрических элементов условными графическими обозначениями:  
 а — повернуты на угол  $90^\circ$ ;  
 б — повернуты на угол, кратный  $45^\circ$ ;  
 в — изображения логических элементов

Условные графические обозначения, содержащие цифровые или буквенно-цифровые обозначения, допускается поворачивать против часовой стрелки на угол  $90$  или  $45^\circ$ .

Условные графические обозначения электрических аппаратов и элементов приведены в прил. 3 (табл. 1).

### 7.2.2. 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 установлены ГОСТ 2.710 - 81.

Для построения обозначений используют прописные буквы латинского алфавита, арабские цифры, а также квалифицирующие символы — специальные знаки: = (обозначение высшего уровня — устройство); ≠ (обозначение высшего уровня — функциональная группа); + (конструктивное обозначение); - (позиционное обозначение — элемент); () (адресное обозначение).

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

Обязательной частью буквенно-цифрового обозначения являются вид и номер обозначения элемента (позиционного обозначения). Остальные части, в том числе и обозначение функции элемента, считаются дополнительными.

В электрических схемах, как правило, проставлена только обязательная часть. Буквенная часть (код) позиционного обозначения может состоять из сочетания букв, количество 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, *HLG* — сигнальную лампу с зеленой линзой.

Если элемент содержит несколько частей, допускается добавлять (при разнесенном способе изображения) к номеру элемента условный номер изображения части элемента, отделяя его точкой. Например, у магнитного пускателя *KM1* есть несколько вспомогательных контактов, показанных в разных частях схемы, которые можно обозначать *KM1.1*; *KM1.2*; *KM1.3* и т.п. [11].

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

Буквенные коды наиболее распространенных элементов и аппаратов приведены в прил. 3 (табл. 2).

### 7.2.3. Монтажные символы

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

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

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

Выходные зажимы (выводы) всех аппаратов маркируют по определенной системе. Для аппаратов, имеющих собственную маркировку выводов, на символах показывают данную фактическую маркировку. Для аппаратов, не имеющих собственной маркировки выводов, на символах изображают условную маркировку, которая в действительности на аппарате отсутствует. Оба вида маркировок изображают одинаково — внутри зажимов.

Условную маркировку выполняют по определенной схеме:

1) главные контакты аппаратов маркируются однозначными цифрами, начиная с единицы;

2) вспомогательные контакты маркируют двузначными числами, в которых первая цифра обозначает порядковый номер контакта для одного аппарата (порядок независимо от вида контакта), а вторая цифра отражает вид контакта.

Приняты следующие условные обозначения для видов контактов: 1—2 (размыкающий контакт); 3—4 (замыкающий контакт); 1—2—3 (переключающий контакт); 5—6 (контакт размыкающий особый); 7—8 (контакт замыкающий особый); 5—6—7 (контакт переключающий особый); 9—0 (контакт импульсный).

В контактах главных и вспомогательных 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 маркируют прописными буквами латинского алфавита: *A—B* (включающая); *C—D* (отключающая); *Q—H* (защелки).

Если в аппарате более 10 контактов, то порядковые номера контактам присваиваются по группам в пределах группы замыкающих контактов, начиная с единицы, и в пределах группы размыкающих контактов, начиная с единицы.

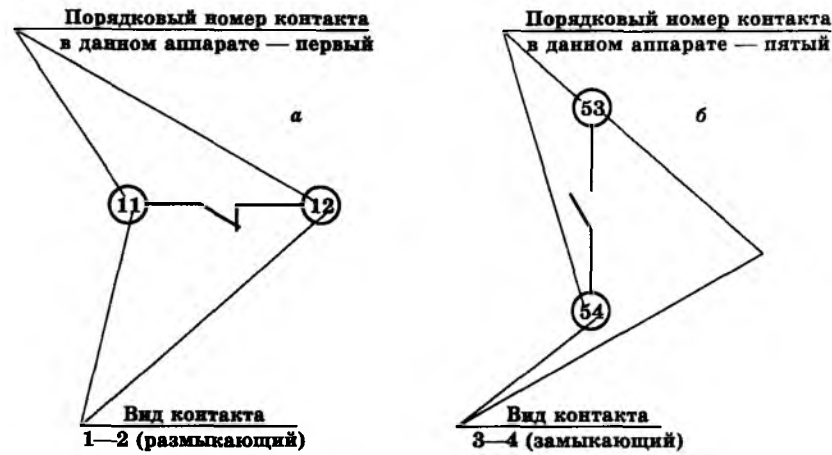


Рис. 7.2. Пример маркировки вспомогательных контактов разного вида:  
*a* — контакт размыкающий; *б* — контакт замыкающий

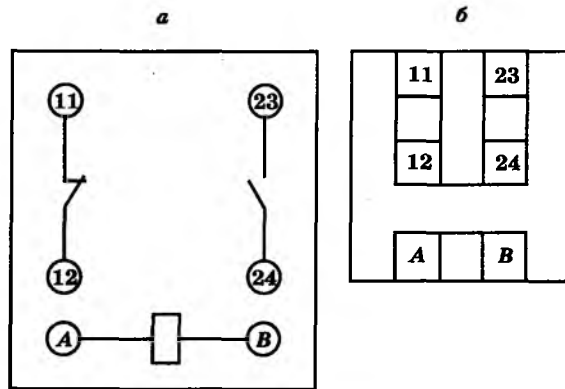


Рис. 7.3. Пример выполнения монтажного символа:  
*a* — монтажный символ электрического аппарата; *б* — монтажный символ, упрощенный для выполнения схем на ЭВМ

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

Для каждого аппарата используется два символа — полный и краткий (упрощенный). Полный символ применяется для составления

монтажных схем соединений, краткий — для таблиц соединений и выполнения схем ЭВМ.

Пример выполнения монтажных символов вспомогательных контактов разного вида показан на рис. 7.2.

Пример выполнения монтажных символов электрических аппаратов приведен на рис. 7.3.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1

Технические характеристики пакетных выключателей и переключателей

Выключатель, переключатель	Величина аппарата	Номинальный ток, А		Количество положений
		220 В	380 В	
ПВ2-10	I	10	6,3	2
ПМ2-10	I			2
ГПВ2-10	I			2
ПВ3-10	I			3
ПМ3-10	I			3
ГПВ3-10	I			3
ПП2-10/Н2	I			2
ПВ2-25	III	25	16	2
ПМ2-25	III			2
ГПВ2-25	III			2
ПВ3-25	III			3
ПМ3-25	III			3
ГПВМ3-25	III			3
ПВ2-60	V	63	40	2
ПМ2-60	V			2
ПП2-60/Н2	V			2
ПВ3-60	V			3
ПМ3-60	V			3
ГПП3-60/Н2	V			3
ПП2-100/Н2	VI	100	63	2
ГПШ12-100/Н2	VI			2
ПВ3-100	VI			3
ПМ3-100	VI			3
ГПВ3-100	VI			3
ПМ2-250	VIII	250	160	2
ПМ3-250	VIII			3
ПМ2-400	IX	400	250	2
ПМ3-400	IX			3

Таблица 2

Технические характеристики магнитных пускателей серий ПМЕ и ПАЕ

Тип	Величина	Номинальный ток, А	Тепловое реле	Номинальный ток, А	Ток установки, А
Нереверсивное исполнение					
ПМЕ-111	1	10	Нет		0,5; 0,63; 0,8;
ПМЕ-111			ТРН-10	10	1,0; 1,25; 1,6;
					2,0; 2,5; 3,2;
					4,5; 6,3; 8; 10
ПМЕ-211	2	25	Нет		4,5; 6,3; 8; 10;
ПМЕ-212			ТРН-25	25	12,5; 16; 20; 25
ПМЕ-311	3	40	Нет		12,5; 16; 20;
ПМЕ-312			ТРН-40	40	25; 30; 40
ПАЕ-411	4	60	Нет		20; 25; 30; 40;
ПАЕ-412			ТРП-60	60	50; 60
ПАЕ-511	5	115	Нет		50; 60; 80; 100;
ПАЕ-512			ТРП-150	150	120
ПАЕ-611	6	150	Нет		100; 120; 150
ПАЕ-612			ТРП-150	150	
Реверсивное исполнение					
ПМЕ-113	1	10	Нет		0,5; 0,63; 0,8;
ПМЕ-14			ТРН-10	10	1,0; 1,25; 1,6;
					2,0; 2,5; 3,2;
					4,5; 6,3; 8; 10
ПМЕ-213	2	25	Нет		4,5; 6,3; 8; 10;
ПМЕ-214			ТРН-25	25	12,5; 16; 20; 25
ПМЕ-313	3	40	Нет		12,5; 16; 20;
ПМЕ-314			ТРН-40	40	25; 30; 40
ПМЕ-413	4	60	Нет		20; 25; 30; 40;
ПМЕ-414			ТРП-60	60	50; 60
ПМЕ-513	5	115	Нет		50; 60; 80; 100;
ПМЕ-514			ТРП-150	150	120
ПМЕ-613	6	150	Нет		100; 120; 150
ПМЕ-614			ТРП-150	150	

Таблица 3

Технические характеристики тепловых реле серий ТРН, ТРП

Тип реле	Номинальный ток реле, А	Номинальный ток теплового элемента реле $I_{ном}$ при 25°C	Пределы регулирования тока уставки
ТРН-8А	3,2	0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0;	0,75...1,3 $I_{ном}$
ТРН-10А		1,25; 1,6	
ТРН-8	10	0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6;	0,75...1,3 $I_{ном}$
ТРН-10		2,0; 2,5; 3,2; 4,5; 6,3; 8,0	
ТРН-20	25	5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16;	0,75...1,3 $I_{ном}$
ТРН-25		20; 25	
ТРН-32	40	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	0,75...1,3 $I_{ном}$
ТРН-40			
ТРП-25	25	1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0;	0,8...1,25 $I_{ном}$
		4,0; 6,0; 8,0	
ТРП-60	60	10; 12; 15; 20; 25	0,75...1,25 $I_{ном}$
ТРП-150	150	20; 25; 30; 40; 50; 60	0,75...1,25 $I_{ном}$
ТРП-600	600	50; 60; 80; 100; 120; 150;	0,75...1,25 $I_{ном}$
		200; 250; 300; 400; 500; 600	

Таблица 4

Технические характеристики контакторов переменного тока

Тип	$U_{ном}$ , В	$I_{ном}$ , А	Количество полюсов	Допустимая частота включений
КТ6000	380, 660	100, 160, 250, 400, 650, 1000	2, 3, 4, 5	1200
КТ7000	380, 660	100, 160	2, 3, 4, 5	600
КВДК630	660	630	3	3800
КБК	380	100	3	2000
КТПВ600	380	63, 100, 160, 250	2	1200

Таблица 5

Технические характеристики автоматических выключателей серий  
АП50, АЗ700

Тип выключателя	Ток $I_{ном}$ , А	Количество полюсов	Род расцепителя	Ток расцепителя $I_{н.д.}$ , А	Кратность тока отсечки $I_{отс}$
АП50-3МТ	50	3	Комбинированный	1,6; 2,4; 4; 6,4; 10; 12,5; 16; 25; 40; 50	$11I_{ном}$
АП50-2МТ		2			
АП50-3М	50	3	Электромагнитный	1,6...50	$11I_{ном}$
АП50-2М		2			
АП50-3Т	50	3	Тепловой	1,6...50	—
АП50-2Т		2			
АП50-3	50	3	Без расцепителя	1,6...50	—
АП50-2		2			
АЗ713Б	160	2	Электромагнитный	31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	$2...10I_{ном}$
АЗ714Б		3			
АЗ723Б	250	2	Электромагнитный	160; 200; 250	—
АЗ724Б		3			
АЗ733Б	400	2	Электромагнитный	160; 200; 250; 315; 400	—
АЗ734Б		3			
АЗ743Б	630	2	Электромагнитный	250; 315; 400; 630	—
АЗ744Б		3			

Таблица 6

Технические характеристики автоматических выключателей серий  
ВА51, ВА52 с комбинированным расцепителем

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Кратность тока отсечки $I_{отс}$
	выключателя	расцепителя	
1	2	3	4
Однополюсные			
ВА 51-29	63	6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 63	3; 7; 10
ВА 51-31-1		100	
Трехполюсные			
ВА 51Г-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25	14
ВА 51-25		25	

Продолжение табл. 6

1	2	3	4
ВА 51-31	100	6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА 51Г-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	14
ВА 52-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3, 7, 10
ВА 51-33	160	80; 100; 125; 160	10
ВА 52-33	160	80; 100; 125; 160	14
ВА 51-35	250	80; 100; 125; 160 200; 250	12
ВА 52-35	400	250; 320; 400	10
ВА 51-37	630	400; 500; 630	10
ВА 52-37	630	250; 400; 500; 630	10

Таблица 7

Технические характеристики автоматических выключателей  
серий ВА 53, ВА 55, ВА 75 с полупроводниковыми  
максимальными расцепителями

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя $I_{ном}$ , А	Уставка тока расцепителя в зоне КЗ, кратная $I_{нр}$
ВА 53-37	160; 250; 400	2; 3; 5; 7; 10
ВА 55-37		
ВА 55-39	160; 250; 400; 630	2; 3; 5; 7; 10
ВА 53-39		
ВА 53-41	1000	2; 3; 5; 7
ВА 55-41	1600	
ВА 53-43	2500	2; 3; 5
ВА 55-43	2500	
ВА 75-45	2500	2; 3; 5; 7
ВА 75-47	4000	2; 3; 5



Таблица 8

## Технические характеристики максимально-токовых реле серии РТ-40

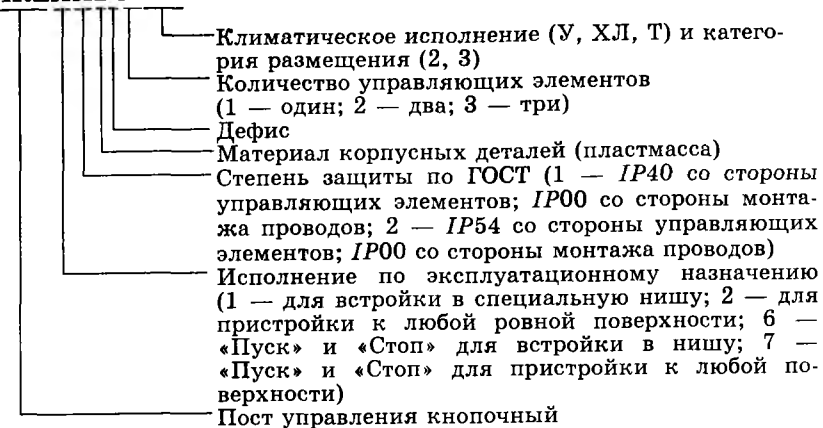
Тип реле	Пределы уставок, А	Последовательное соединение катушек		
		Ток срабатывания, А	Термическая стойкость, А	
			длительно	в течение 1 с
РТ40/0,2	0,05...0,2	0,05...0,1	0,55	15
РТ40/0,6	0,15...0,6	0,15...0,3	1,75	50
РТ40/2,0	0,5...2,0	0,5...1,0	4,15	100
РТ40/6,0	1,5...6,0	1,5...3,0	11,0	300
РТ40/10	2,5...6,0	2,5...5,0	17,0	400
РТ40/20	5,0...25	5,0...10	19,0	400
РТ40/50	12,5...50	12,5...25	27,0	500
РТ40/100	25...100	25...50	27,0	500
РТ40/200	50...200	50...100	27,0	500

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

## Структура условного обозначения кнопочных постов управления

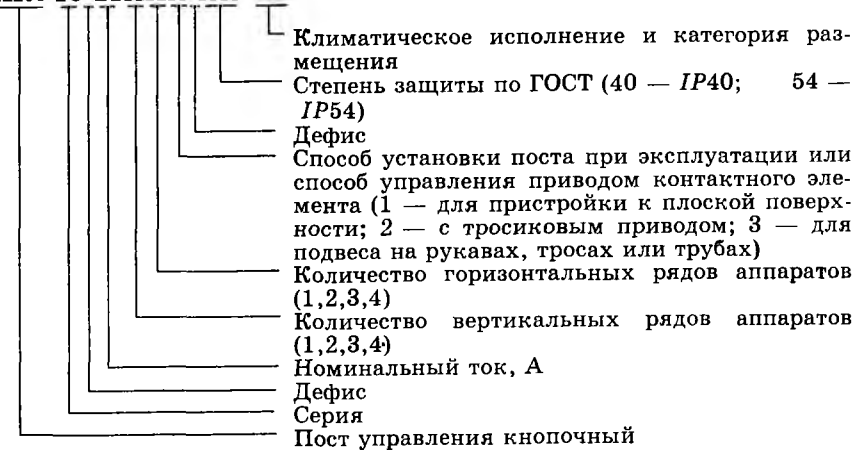
## Серия ПКЕ

ПКЕХХ2-XXX



## Серия ПКУ15

ПКУ15-21XXX-XX-XX



Структура условного обозначения электромагнитных пускателей

Серия ПМЛ

ПМЛ-XXXXXXXX

Исполнение по износостойкости  
 Климатическое исполнение (У, ТВ) и категория размещения (2,4)  
 Сейсмостойкое исполнение пускателей  
 Количество контактов вспомогательной цепи:  
 0-1з (на 10—25 А), 1з+1р (на 40—63 и 80—200 А), переменный ток  
 1-1р (на 10—25 А), 2з+2р (на 80—200 А), переменный ток  
 2-3з+2р (на 80—200 А), переменный ток  
 3-3з+3р (на 80—200 А), переменный ток  
 4-5з+1р (на 80—200 А), переменный ток  
 5-1з (на 10—25 А)  
 6-1р (на 10—25 А), постоянный ток  
 Исполнение пускателя по степени защиты и наличию кнопок (0 — IP00 без кнопок; 1 — IP54 без кнопок; 2 — IP54 с кнопками «Пуск» и «Стоп»; 3 — IP54 с кнопками «Пуск» и «Стоп», сигнальной лампой)  
 Исполнение пускателей по назначению и наличию теплового реле (1 — нереверсивный пускатель без теплового реле; 2 — нереверсивный пускатель с тепловым реле; 5 — реверсивный пускатель без теплового реле с электрической и механической блокировками; 6 — реверсивный пускатель с тепловым реле с электрической и механической блокировками; 7 — пускатель «звезда — треугольник»)  
 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)  
 Дефис  
 Серия  
 Пускатель электромагнитный

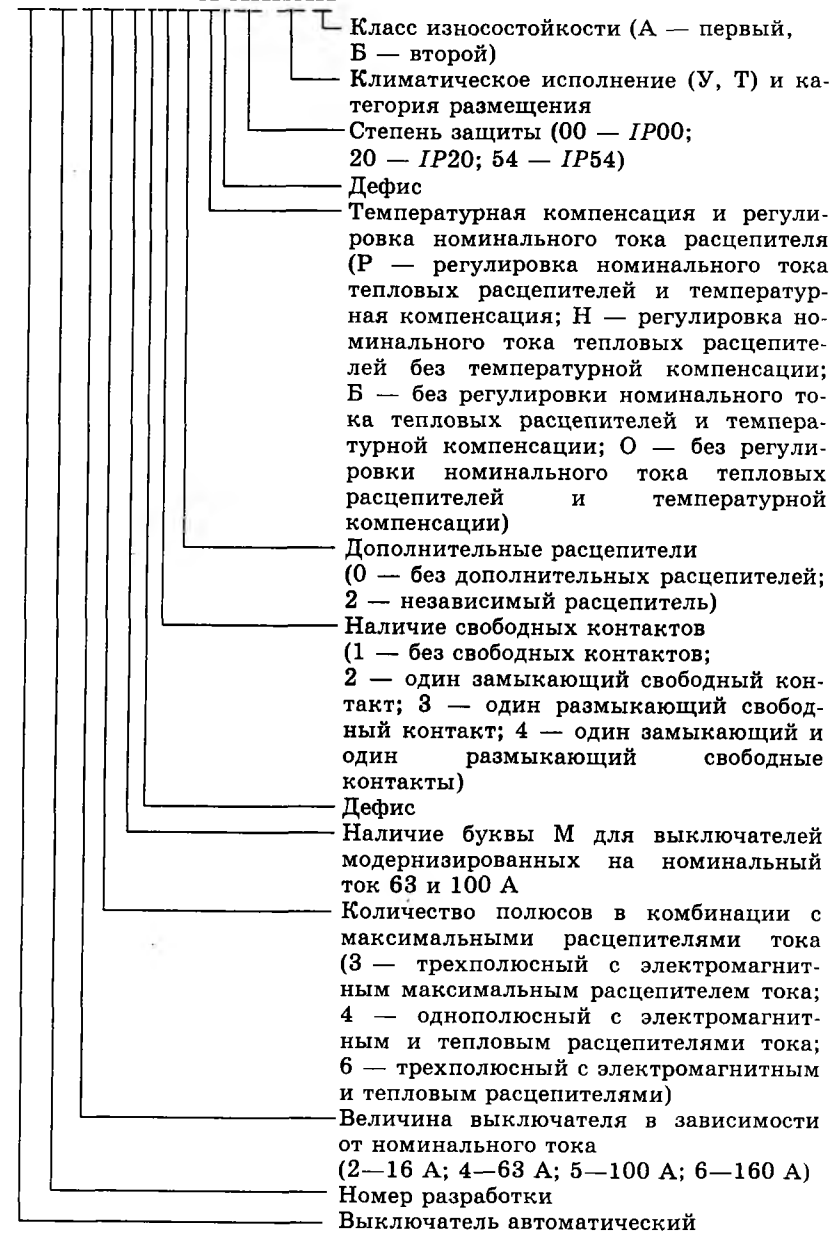
Серии ПМЕ, ПАЕ

ПМЕ-XXX

Исполнение по назначению и наличию тепловых реле (1,2 — нереверсивный; 3,4 — реверсивный 1,3 — без тепловых реле; 2,4 — с тепловыми реле)  
 Исполнение по защищенности (1 — IP00 — открытое; 2 — IP23 — защищенное; 3 — IP54 — пылеводозащищенное)  
 Величина магнитного пускателя по номинальному току (для серии ПМЕ: 1—10 А; 2—25 А; для серии ПАЕ: 3—40 А; 4—56 А; 5—115 А; 6—150 А)  
 Пускатель магнитный

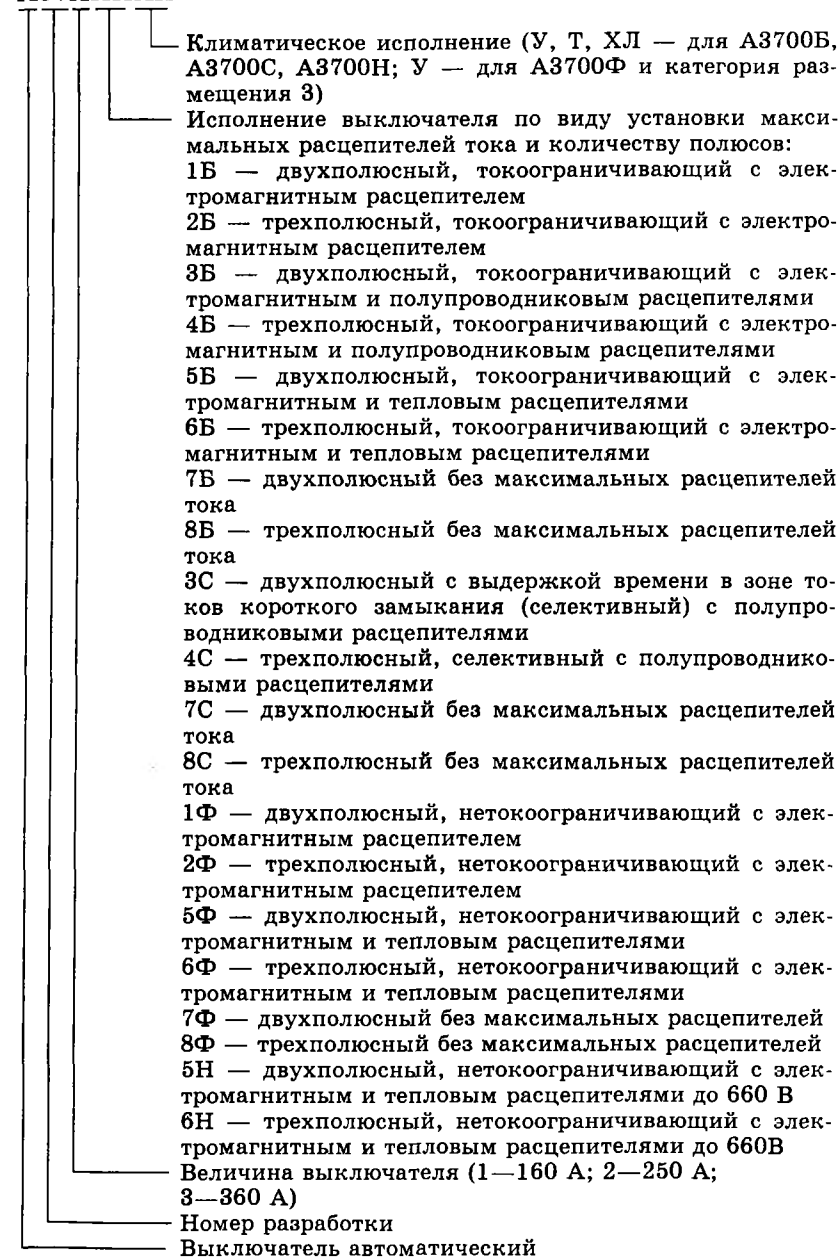
## Серия АЕ2000

АЕ20XXX-XXX-XXXXX



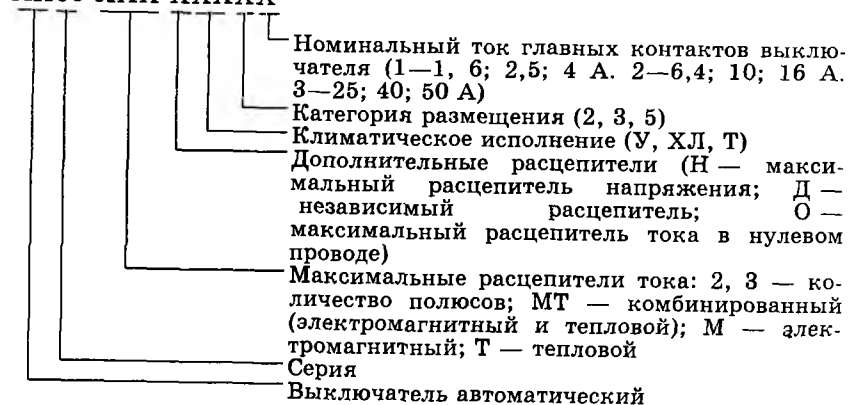
## Серия АЗ700

АЗ7XXXXX



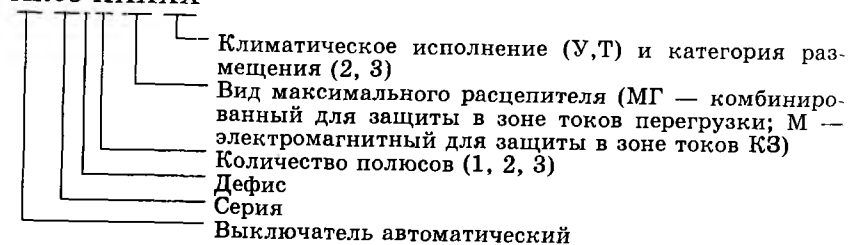
## Серия АП50

АП50 XXX XXXXX



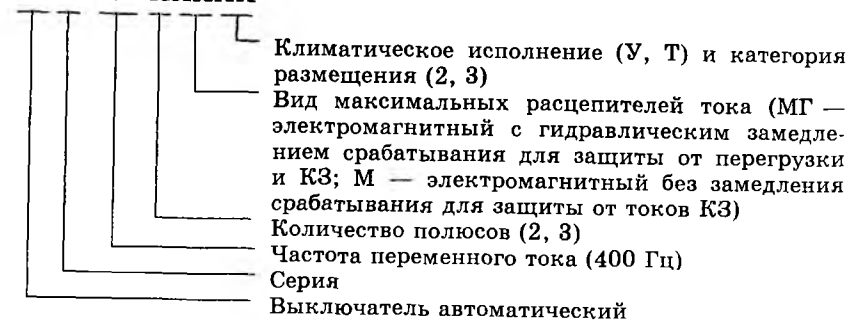
## Серия АК63

АК63-XXXXX



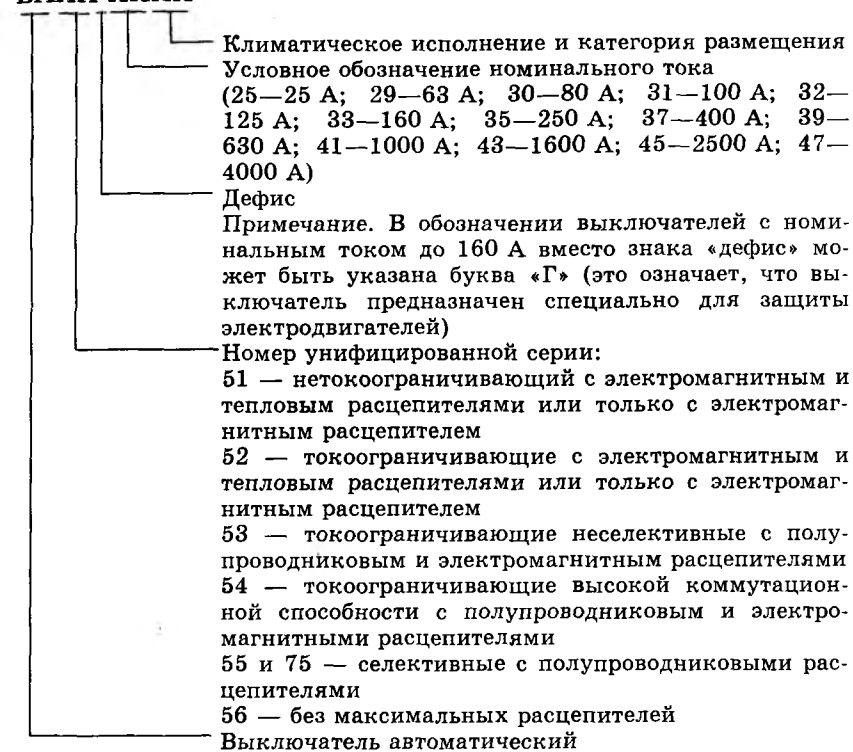
## Серия АК50

АК50-400-XXXXX



## Серия ВА

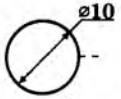
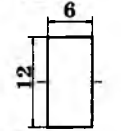
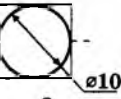
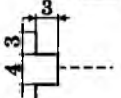

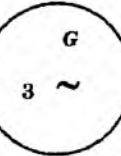
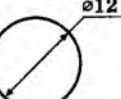
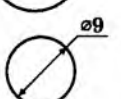
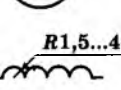
ВАХХ-XXXX



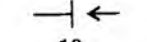

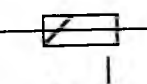
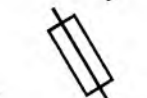
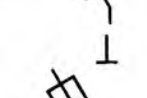
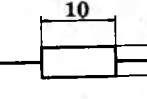
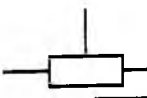
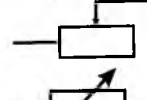
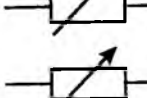
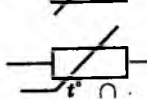



## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица 1

Условные графические обозначения, используемые в схемах

Наименование 1	Обозначение 2
Элементы привода и управляющих устройств:	
привод электромашинный	
привод электромагнитный	
привод электротепловой	
привод с помощью биметалла	
Электрические машины:	
общее обозначение	
Примечание. Внутри окружности допускается указывать род машины (генератор — G, двигатель — M, возбудитель — B, тахогенератор — BR и др.); вид тока, количество фаз или вид соединения обмоток	
статор электрической машины	
ротор электрической машины	
обмотка, катушка индуктивности, дроссель	

1	2
реактор	
разрядник	
Предохранители:	
пробивной	
плавкий	
инерционно-плавкий	
выключатель-предохранитель	
разъединитель-предохранитель	
Резисторы:	
постоянный	
постоянный с одним симметричным отводом	
переменный	
переменный в реостатном включении	
терморезистор прямого подогрева	
терморезистор косвенного подогрева	

Продолжение табл. 1

1	2
Конденсаторы:	
постоянной емкости	
электролитический поляризованный	
электролитический неполяризованный	
переменной емкости	
Электроизмерительные приборы:	
датчик измеряемой неэлектрической величины	
датчик давления с токовым выходом	
Прибор электроизмерительный показывающий:	
регистрирующий	
интегрирующий (например, счетчик электрической энергии)	
датчик температуры	
термопреобразователь бесконтактный	
контактный	
счетчик импульсов	

Продолжение табл. 1

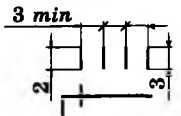

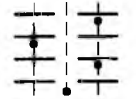
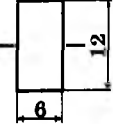
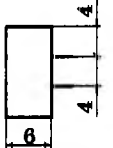


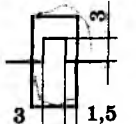
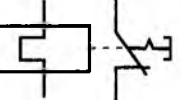
1	2
Полупроводниковые приборы:	
диод	
диод туннельный	
стабилитрон односторонний	
стабилитрон двусторонний	
варикап	
тиристор диодный (динистор)	
тиристор диодный симметричный	
тиристор триодный	
транзистор типа p-n-p	
D 12 14	
A 9 11	
a 2,5 3,5	
транзистор типа n-p-n	
фоторезистор	

Продолжение табл. 1

1	2
фотодиод	
фототиристор диодный	
светоизлучающий диод (R=5 или 6 мм)	
диодная оптопара	
тиристорная оптопара	
резисторная оптопара	
Коммутационные устройства:	
контакт замыкающий	
контакт размыкающий	
контакт переключающий	

Продолжение табл. 1

1	2
контакт замыкающий с замедлением при срабатывании	
контакт замыкающий с замедлением при возврате	
контакт замыкающий с замедлением при срабатывании и возврате	
контакт размыкающий с замедлением при срабатывании	
контакт размыкающий с замедлением при возврате	
контакт размыкающий с замедлением при срабатывании и возврате	
контакт электротеплового реле при разнесенном способе изображения реле	
Выключатели:	
кнопочный нажимной с замыкающим контактом	
кнопочный нажимной с размыкающим контактом	
путевой (конечный)	
выключатель (переключатель) пакетный	
трехполюсный	
автоматический трехполюсный	

1	2
переключатель однополюсный многопозиционный, например четырехпозиционный	
переключатель двухполюсный трехпозиционный с нейтральным положением	
переключатель со сложной коммутацией. Изображается в виде условного обозначения, а на поле схемы помещается таблица замыкания контактов	
катушка электромеханического устройства	
выводы допускается изображать с одной стороны прямоугольника	
катушка электромеханического устройства с двумя обмотками	
катушка электромеханического устройства трехфазного тока	
нагревательный элемент электротеплового реле	
Реле электротепловое без самовозврата (с возвратом нажатием кнопки)	

Буквенные коды видов элементов в электрических схемах

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



Продолжение табл. 2

1	2	3	4
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретный элемент защиты по току инерционного действия	FP
		Предохранитель плавкий	FU
		Дискретный элемент защиты по напряжению (разрядник)	FV
G	Генераторы, источники питания, кварцевые осцилляторы	Батарея	GB
H	Устройства индикационные и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации	HA
		Индикатор символьный	HG
		Прибор световой сигнализации	HL
K	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое	BA
		Реле указательное	KH
		Реле электротепловое	KK
		Контактор, магнитный пускатель	KM
		Реле времени	KT
		Реле напряжения	KV
L	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссель люминесцентного освещения	LL
M	Двигатели постоянного и переменного тока	—	—
P	Приборы, измерительное оборудование	Амперметр	PA
		Счетчик импульсов	PC
		Частотомер	PF
		Счетчик активной энергии	PI
		Счетчик реактивной энергии	PK
		Омметр	PR
		Регистрирующий прибор	PS

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
P	Приборы, измерительное оборудование	Часы, измеритель времени действия	PT
		Вольтметр	PV
		Ваттметр	PW
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т.д.)	Выключатель автоматический	QF
		Короткозамыкатель	QK
		Разъединитель	QS
R	Резисторы	Терморезистор	RK
		Потенциометр	RP
		Шунт измерительный	RS
		Вариатор	RU
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных	Выключатель или переключатель	SA
		Выключатель кнопочный	SB
		Выключатель автоматический	SF
		Выключатели, срабатывающие от различных воздействий:	
		уровня	SL
		давления	SP
		положения (путевой)	SQ
		частоты вращения	SR
		температуры	SK
		T	Трансформаторы, автотрансформаторы
Электромагнитный стабилизатор	TS		
Трансформатор напряжения	TV		

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
U	Устройства связи Преобразователи электрических вели- чин в электрические	Модулятор	UB
		Демодулятор	UD
		Дискриминатор	UI
		Преобразователь час- отный инвертор, генератор частоты, выпрямитель	UZ
V	Приборы электрова- куумные и полупро- водниковые	Диод, стабилитрон	VD
		Прибор электроваку- умный	VL
		Транзистор	VT
		Тиристор	VS
W	Линии и элемен- ты СВЧ	Антенна	WA
		Ответвитель	WE
		Короткозамыкатель	WK
		Вентиль	WS
X	Соединения контакт- ные	Токосъемник, кон- такт скользящий	XA
		Штырь	XP
		Гнездо	XS
		Соединение разборное	XT
		Соединитель высоко- частотный	XW
Y	Устройства механи- ческие с электромаг- нитным приводом	Электромагнит	YA
		Тормоз с электромаг- нитным приводом	YB
		Муфта с электромаг- нитным приводом	YC
		Электромагнитный патрон или плита	YH
Z	Устройства оконеч- ные, фильтры, огра- нители	Ограничитель	ZL
		Фильтр кварцевый	ZQ

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие «Электрические аппараты» разработано на основе типовой учебной программы для специальности «Монтаж и эксплуатация электрооборудования» средних специальных учебных заведений, утвержденной начальником Управления среднего специального образования Министерства образования Республики Беларусь 03.02.1997 г.

В пособии обобщен большой материал по конструкции, устройству и принципу действия электрических аппаратов, приведены технические характеристики электрических аппаратов управления, защиты, бесконтактных электрических аппаратов и датчиков, рассмотрены вопросы ремонта электрических аппаратов напряжением до 1 кВ.

В приложении 1 приведены технические данные пакетных выключателей и переключателей, магнитных пускателей, контакторов, тепловых и токовых реле, автоматических выключателей.

В приложении 2 описана структура условных обозначений кнопок управления, магнитных пускателей, автоматических выключателей распространенных серий.

В приложении 3 даны условные графические обозначения, а также буквенные коды видов элементов, используемые в электрических схемах.

Учебное пособие предназначено для учащихся и преподавателей специальности «Монтаж и эксплуатация электрооборудования», других электротехнических специальностей средних специальных учебных заведений, а также для персонала, осуществляющего обслуживание и эксплуатацию электрооборудования предприятий и организаций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. — М.: Главгосэнергонадзор, 1998.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Пижурин А.А. Электрооборудование и электроснабжение лесопромышленных и деревообрабатывающих предприятий. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Лесн. пром-сть, 1987.
4. Шихин А.Я., Белоусова Н.М., Пухляков Ю.Х. и др. Электротехника/ Под ред. А.Я. Шихина. — М.: Высшая школа, 1998.
5. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
6. Кисаримов Р.А. Справочник электрика. — М.: КубК — а, 1997.
7. Москаленко В.В. Электрический привод. — М.: Высшая школа, 1991.
8. Атабеков В.Б. Ремонт электрооборудования промышленных предприятий. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1979.
9. Вернер В.В. Электромонтер-ремонтник. — 7-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1987.
10. Александров К.К., Кузьмина Е.Г. Электрические чертежи и схемы. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
11. Усатенко С.Т., Коченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД. — М.: Изд-во стандартов, 1989.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	5
Введение.....	6
Глава 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	7
1.1. Классификация электрических аппаратов.....	7
1.2. Основы теории электрических аппаратов.....	9
1.3. Гашение электрической дуги.....	9
Глава 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	25
2.1. Устройство и принцип действия.....	25
Глава 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	41
3.1. Магнитные системы электрических аппаратов постоянного и переменного тока.....	41
3.2. Устройство и принцип действия электромагнитных аппаратов.....	49
Глава 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ.....	70
4.1. Общие сведения об электрических аппаратах защиты.....	70
4.2. Устройство и принцип действия аппаратов защиты.....	70
4.3. Условия выбора электрических аппаратов защиты.....	89
Глава 5. БЕСКОНТАКТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДАТЧИКИ.....	94
5.1. Классификация датчиков.....	94
5.2. Устройство и принцип действия датчиков.....	94
5.3. Бесконтактные электрические аппараты.....	111
5.4. Бесконтактные логические элементы.....	113
5.5. Магнитные усилители.....	117
Глава 6. НЕИСПРАВНОСТЬ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	119
6.1. Виды и причины износа.....	119
6.2. Ремонт электрических аппаратов.....	121
6.3. Ремонт воздушных автоматических выключателей.....	126
Глава 7. ИСПОЛНЕНИЕ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	133
7.1. Степень защиты и исполнение аппаратов.....	133
7.2. Условные обозначения электрических аппаратов в схемах и чертежах.....	136
Приложение 1.....	141
Приложение 2.....	147
Приложение 3.....	154
Заключение.....	165
Литература.....	166

**В. Д. Елкин**

Учебное издание

*Елкин Валерий Дмитриевич  
Елкина Татьяна Васильевна*

**Электрические аппараты**

Общегосударственный классификатор  
Республики Беларусь ОКРБ 007-98 ч.1, 22.11.20.100

Ответственный за выпуск: *Л. С. Овчинников*  
Гл. редактор: *Н. В. Овчинникова*

Подписано в печать с оригинал-макета 28.01.2003. Формат 60×90 1/16.  
Бум. офсетная. №1 марки А. Печать офсетная. Гарнитура SchoolBook. Усл. печ. л. 10,5.  
Уч. изд. л. 10,2. Тираж 1000 экз. Зак. 413.

Лицензия ЛВ №93 от 02.12.1997 г.,  
продолжение от 02.12.2002 г.

Издательство «Дизайн ПРО», 220040, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Некрасова, 5, офис 510.

Отпечатано в РУП «Типография «Победа» с готовых диапозитивов заказчика,  
лицензия ЛП №5 от 13.11.2000 г., 222310, Республика Беларусь, г. Молодечно, ул. Тавлая, 11.

# **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ**

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

*Допущено Министерством образования  
Республики Беларусь в качестве учебного  
пособия для учащихся средних специальных  
учебных заведений по специальности  
«Электротехника»*

ISBN 985-452-074-9



9 789854 520742

Минск  
Издательство «Дизайн ПРО»  
2003

УДК 621.316  
ББК 31.26я7  
Е52

Рецензенты: Минский политехнический колледж, Щербак Л.С.; кафедра «Электроснабжение» Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого, канд. техн. наук Широков О. Г.

**Елкин В.Д.**

**Е52** Электрические аппараты. Практические и лабораторные работы: Учебное пособие для учащихся ССУЗов. — Мн.: Дизайн ПРО, 2003. — 80 с., ил.  
ISBN 985-452-075-7.

Содержит описание трех практических и восьми лабораторных работ.  
Для учащихся ССУЗов, студентов ВУЗов и учащихся ПТУ, инженерно-технических работников.

УДК 621.316  
ББК 31.26я7

ISBN 985-452-075-7

© Елкин В. Д., 2003  
© Оформление — издательство «Дизайн ПРО», 2003

## **ВВЕДЕНИЕ**

С целью лучшего усвоения и закрепления учащимися теоретических знаний и приобретения практических навыков и умений типовой программой курса «Электрические аппараты» по специальности «Монтаж и эксплуатация электрооборудования» предусмотрено проведение трех практических и пяти лабораторных работ. Данное пособие содержит описание трех практических и восьми лабораторных работ, что позволит учебным заведениям в зависимости от специализации и имеющейся технической базы определить перечень и содержание занятий.

Выполнение лабораторных работ производится в несколько этапов: подготовка; допуск; выполнение работы; проверка результатов опытов; оформление и сдача отчета.

## **ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ**

1. До выполнения лабораторной работы каждый учащийся должен самостоятельно изучить теоретические сведения, схему лабораторной установки по графику проведения лабораторных работ.

2. Вычертить схемы опытов и таблицы для записи их результатов.

3. Изучить конструкцию и принцип действия исследуемых аппаратов.

## **ДОПУСК К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ**

1. Для выполнения лабораторных работ учащиеся группы распределяются на бригады. Их состав, определяемый преподавателем, не должен превышать трех учащихся.

2. Состав бригады и график проведения работ сообщаются учащимся за несколько дней до занятия.

3. К выполнению первой работы по графику допускаются учащиеся, изучившие цель, порядок выполнения работ и подготовившие схемы опытов и таблицы для записи результатов.

4. До выполнения последующей работы учащиеся должны сдать преподавателю оформленный отчет по предыдущей работе и подготовиться к выполнению последующей работы по графику.

## **ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ**

1. Перед сборкой схемы необходимо распределить обязанности между членами бригады.

2. Ознакомиться с электроизмерительными приборами и аппаратами на стенде.

3. Убедившись, что лабораторный стенд отключен от сети,

приступить к сборке схемы. Сборку схемы следует производить проводами, имеющими изоляцию различной окраски, что облегчает отыскание в ней неисправностей.

4. После окончания сборки схемы необходимо тщательно проверить соединения в соответствии с монтажной схемой лабораторного стенда и схемой опыта.

5. Собранный схему нужно предъявить преподавателю для получения разрешения на выполнение опытов.

6. Опыты следует проводить в соответствии с порядком выполнения работы, приведенным в каждой работе данного пособия.

7. При включении напряжения на стенд вводным автоматическим выключателем  $QF$  необходимо следить за показаниями электроизмерительных приборов, которые помогают своевременно обнаружить неисправность. Отсутствие показаний вольтметра или амперметра указывает на неправильное их подключение или неправильное соединение элементов схемы.

8. При испытании электрических аппаратов необходимо контролировать, чтобы величины измеряемых параметров не выходили за пределы их номинальных данных.

9. После окончания опытов следует отключить вводной автоматический выключатель  $QF$ , но электрическую цепь не разбирать пока преподаватель проверит результаты опытов.

### ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

1. Результаты опытов в виде таблиц и графиков должны быть проверены преподавателем.

2. После проверки и утверждения преподавателем полученных результатов лабораторная работа считается выполненной.

### ОФОРМЛЕНИЕ И СДАЧА ОТЧЕТА

1. Отчет по лабораторной работе каждый учащийся группы выполняет в соответствии с требованиями пунктов «Содержание отчета» данного пособия.

2. При защите отчета по лабораторной работе учащиеся должны пояснить цель работы, полученные данные результатов измерений и вычислений, ответить на контрольные вопросы.

## МЕРЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Электрический ток опасен для жизни человека, поэтому при работе с электрическими аппаратами, находящимися под напряжением, необходимо соблюдать меры безопасности.

В системе электроснабжения потребителей применяется трехфазная четырехпроводная система напряжения с глухозаземленной нейтралью силовых трансформаторов. Поэтому если к заземленному электрооборудованию, на оболочке (корпусе) которого возникло напряжение, прикасается человек, то он оказывается под напряжением прикосновения. Напряжение прикосновения может достигать опасной величины в случаях большого сопротивления в цепи заземления или обрыва заземления. Величина тока, проходящего через человека, зависит от сопротивления его тела. Чем выше сопротивление тела человека, тем меньший ток проходит через него.

В случае соприкосновения с токоведущими частями человека следует немедленно освободить от действия тока, быстро отключив ту часть установки, к которой прикоснулся пострадавший. Если выключатель находится далеко и быстро установку отключить не представляется возможным, надо принять меры по высвобождению пострадавшего от токоведущих частей. При этом оказывающие помощь должны принять меры предосторожности. Нельзя прикасаться к телу пострадавшего незащищенными руками! Следует обернуть руки сухой тканью и подложить под ноги сухую одежду или доску.

Сразу же после освобождения пострадавшего человека от действия электрического тока необходимо определить характер оказания первой доврачебной помощи и вызвать врача.

### МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

К выполнению лабораторных работ допускаются учащиеся, прошедшие инструктаж по технике безопасности с соответствующей записью в журнале регистрации вводного инструктажа и журнале регистрации инструктажа на рабочем месте, а также подписью инструктирующего и инструктируемого лица.

При выполнении работ на учебных лабораторных установках учащиеся должны:

1. Соблюдать все указания преподавателя (заведующего лабораторией).

2. Быть предельно внимательными и осторожными.

3. Знать, где и какие аппараты отключают лабораторные установки и напряжение в лаборатории.

4. Знать назначение аппаратов, электроизмерительных приборов и способы включения их в схемы.

5. Включать схемы под напряжение только после проверки их преподавателем.

6. Уметь производить замену электроизмерительных приборов, предохранителей, а различные переключения выполнять после отключения напряжения.

7. После выполнения работ отключить от сети лабораторный стенд.

8. При несчастном случае оказать пострадавшему первую доврачебную помощь и вызвать врача.

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторные работы, предусмотренные программой курса «Электрические аппараты», выполняются на стенде, схема которого приводится в методических указаниях каждой работы.

Лабораторная установка представляет собой комплектный лабораторный стенд, который подключается к однофазной сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 220 В. Включение напряжения сети осуществляется вводным автоматическим выключателем  $QF$  сер. АП50 - 2М или другой серии (например, АЕ1000, ВА), рассчитанным на номинальный ток 4 А для защиты от токов коротких замыканий, которые могут возникнуть при нарушении изоляции соединительных проводов, электрических аппаратов или ошибочной сборке схемы.

При включении автоматического выключателя  $QF$  напряжение подается на регулятор напряжения Т1 типа ЛАТР, позволяющий плавно регулировать вторичное напряжение от 0 до 240 В (может применяться и другой регулятор, например тиристорный). Затем напряжение подается на исследуемый аппарат ИА (реле, контактор, магнитный пускатель) или на понижающий трансформатор Т2 напряжением 220/6 В (220/12 В), мощностью 250 (400) Вт для исследования плавких предохранителей, автоматических выключателей, токовых и тепловых реле.

Схема лабораторного стенда разработана таким образом, что при незначительном переключении соединительных проводов, имеющих разъемное соединение, позволяет производить исследование электрических аппаратов управления и защиты переменного и постоянного тока. Для контроля исследуемых параметров электрических аппаратов схема стенда предусматривает включение электроизмерительных приборов: вольтметров PV1, PV2, PV3; амперметров PA1, PA2, PA3, PA4; электрического или электронного секундомера РТ и сигнальной лампы НЛ.

При изучении электромагнитных контакторов исследуемый аппарат включается и отключается посредством кнопок управления SB1 и SB2.

Исследование аппаратов защиты плавких предохранителей и автоматических выключателей производится с включением трансформатора тока ТА последовательно с исследуемым аппаратом. Во вторичную обмотку трансформатора тока включается токовое реле КА, необходимое для управления секундомером при проведении опыта.

Для исследования электрических аппаратов постоянного тока предусмотрен полупроводниковый выпрямитель VD, собранный на четырех полупроводниковых диодах типа Д246 по мостовой схеме.

При выполнении лабораторной работы «Исследование магнитного усилителя» на стенд устанавливается дополнительная приставка, состоящая из магнитного усилителя, амперметров PA3 и PA4, вольтметра PV3.

Исследуемые аппараты ИА включаются в схему стенда посредством соединительных проводов с медными гибкими жилами соответствующего сечения, но не менее  $1,5 \text{ мм}^2$ .

В зависимости от цели выполняемой лабораторной работы на стенд устанавливаются и подключаются исследуемые электрические аппараты.

*Техническая характеристика исследуемых аппаратов*

1. Электромагнитный контактор переменного тока сер. КТ7025 УЗ:  $U_{\text{ном}}=380 \text{ В}$ ,  $U_{\text{ном.к}}=220 \text{ В}$  переменного тока частотой  $50 \text{ Гц}$ ,  $I_{\text{ном}}=160 \text{ А}$ .

2. Контактор постоянного тока сер. КП1:  $U_{\text{ном}}=220 \text{ В}$ ,  $U_{\text{ном.к}}=110 \text{ В}$ ,  $I_{\text{ном}}=20 \text{ А}$ .

3. Электромагнитный пускатель сер. ПМЛ-11000:  $U_{\text{ном}}=380 \text{ В}$ ,  $U_{\text{ном.к}}=220 \text{ В}$  переменного тока частотой  $50 \text{ Гц}$ ,  $I_{\text{ном}}=10 \text{ А}$ .

4. Электромагнитное реле постоянного тока сер. РПУ-1:  $U_{\text{ном.к}}=220 \text{ В}$ .

5. Плавкий предохранитель сер. ПРС-6:  $I_{\text{ном}}=6 \text{ А}$  со сменными плавкими вставками на номинальный ток  $I_{\text{ном}}=1 \text{ А}$  (5 шт. на один опыт).

6. Электротепловое реле сер. РТЛ-1006:  $I_{\text{ном}}=1,3 \text{ А}$ , пределы регулирования  $I_{\text{ном}}=0,95...1,6 \text{ А}$ .

7. Токовое реле сер. РТ-40/2;  $I_{\text{срб}}=0,5...1,0 \text{ А}$ .

8. Автоматический выключатель сер. ВА51Г-25:  $I_{\text{ном}}=0,5 \text{ А}$ ,  $I_{\text{отс}}=12 I_{\text{ном}}$ .

9. Реле времени сер. ВЛ-56 УХЛ4: выдержка времени  $0,1...10 \text{ мин}$ .

10. Магнитный усилитель с двумя обмотками: рабочей  $W_p$  на номинальное переменное напряжение  $U_{\text{ном}}=220 \text{ В}$  и управления  $W_y$  на постоянное напряжение  $220 \text{ В}$ .

*Техническая характеристика стенда*

Номинальное напряжение сети переменного тока,  $220 \text{ В}$  ( $50 \text{ Гц}$ )

Регулируемое напряжение,  $\text{В}$ :

переменного тока —  $0...240$ ,

постоянного тока —  $0...220$ .

Номинальный ток,  $\text{А}$ :

с регулятором напряжения — Т1  $1...8$ ,

с понижающим трансформатором — Т2 — более  $10$ .

Предел измерения секундомера,  $\text{с}$  —  $0...9,9$ .

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1

#### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ

##### 1.1. Цель работы

Изучить конструкцию кнопок управления, ключей и универсальных переключателей, командоаппаратов и контроллеров.

Научиться составлять электрические схемы, монтажные символы и диаграммы переключения контактов.

##### 1.2. Теоретические сведения

Аппараты ручного управления применяются для нечастого включения и выключения электрических цепей, реверсирования, переключения схем соединения обмоток, изменения сопротивления при управлении электродвигателями и т.д. К аппаратам ручного управления относятся рубильники, пакетные выключатели и переключатели, универсальные переключатели, кнопки управления, кнопочные посты, командоаппараты и контроллеры.

*Рубильники* — простейшие электрические аппараты ручного управления. Применяются в цепях постоянного и переменного тока при напряжении до  $500 \text{ В}$  и силе тока  $25...10\,000 \text{ А}$ . Конструктивно рубильники подразделяются по количеству полюсов (одно-, двух- и трехполюсные); способу присоединения (с передней и задней стороны аппарата); роду управления (с центральной и боковой рукояткой или рычажным приводом).

Коммутирующим элементом рубильников является подвижный нож, входящий в губки контактных стоек. В некоторых конструкциях рубильники совмещают с предохранителями или используют предохранители в качестве ножей. Такое сочетание позволяет выполнять функции коммутации и защиты и называется «блок предохранитель — выключатель» (БПВ).

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

В целях обеспечения безопасности прикосновения обслуживающего персонала к токоведущим частям рубильники заключаются в защитный металлический кожух.

Электротехническая промышленность выпускает рубильники (Р) и переключатели (П) нескольких разновидностей. Рубильники и переключатели поставляются на изолированных панелях и без них по заказу.



Существуют следующие буквенные обозначения типов рубильников и переключателей:

РБ (РБ) — 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; 3 — 300 А; 4 — 400 А).

Силовые ящики выпускаются типов ЯВЗ, ЯВЗШ, ЯВЗБ на напряжение до 500 В, что означает соответственно: Я — ящик; В — выключатель; З — закрытый; Ш — со штепсельным разъемом; Б — контактные стойки с барашковыми зажимами.

Силовые ящики типов ЯБП, ЯБПВУ на напряжение 380 В предназначены для защиты линий и нечастой коммутации электрических цепей и имеют плавкие предохранители сер. ПН2 (ЯБПВУ — 1М на номинальный ток 100 А; ЯБП1 — 2УЗ — 250 А; ЯБПВУ — 4УЗ — 400 А).

*Пакетные выключатели и переключатели* применяются для коммутации в цепях управления и сигнализации: в схемах пуска и реверса электродвигателей небольшой мощности под нагрузкой в цепях постоянного тока напряжением до 220 В и переменного тока 380 В. Выключатели представляют собой малогабаритные многоцепные аппараты поворотного типа. Выпускаются пакетные выключатели, рассчитанные на ток 4...400 А и 15...20 включений. Они имеют одно-, двух- и трехполюсную конструкцию в открытом, защищенном и герметическом исполнении.

Типы пакетных выключателей и переключателей имеют следующие буквенные обозначения: ПВ — пакетный выключатель; ПВМ — то же, малогабаритный; ГПВМ — герметический малогабаритный. Следующие после букв цифры обозначают количество полюсов и номинальный ток аппарата, например ПВМ 2 - 10 — пакетный выключатель малогабаритный двухполюсный, рассчитанный на номинальный ток 10 А.

*Универсальные переключатели* типа УП имеют два и более положения рукоятки, от 2 до 16 секций и устанавливаются на щитах и пультах управления, и служат для ручного переключения цепей управления напряжением до 440 В постоянного и до 500 В переменного тока.

Универсальные переключатели выпускаются в открытом (сер. УП 5300), водо- (сер. УП 5400) и взрывозащищенном (УП 5800) исполнении.

По числу секций переключатели имеют восемь исполнений (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 секций).

Выпускаются переключатели с фиксацией рукоятки в определенных положениях и с самовозвратом рукоятки в нулевое положение.

Универсальные переключатели серии УП 5300 допускают длительную токовую нагрузку до 20 А.

Переключатели серии ПМО применяются в цепях постоянного тока напряжением до 220 В и переменного тока до 380 В. Они рассчитаны на шесть пакетов и имеют модификацию: ПМОФ — до восьми фиксированных положений подвижной контактной системы через каждые

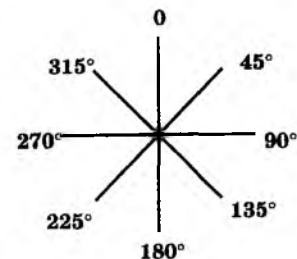


Рис. 1.1. Фиксация подвижной системы контактов

тактной системы через каждые 45 или 90° поворота рукоятки (ПМОФ - 45 и ПМОФ - 90) (рис. 1.1).

Каждый переключатель серии ПМО имеет собственную схему включения и диаграмму замыкания контактов. Типовое обозначение переключателей состоит:

из типа переключателя (ПМОФ, ПМОВ, ПМОВФ);

значения углов поворота рукоятки 45 или 90°;

типа подвижных контактов, начиная с контактов типов 1.2.3.4.5.6.7.8 при вращении оси жестко за ней; контакты типов 5<sub>1</sub>.5<sub>2</sub>.5<sub>3</sub>.6<sub>1</sub>.6<sub>2</sub>.6<sub>3</sub>.9<sub>1</sub>.9<sub>2</sub>.9<sub>3</sub>.10<sub>1</sub>.10<sub>2</sub>.10<sub>3</sub> имеют на оси холостой ход в пределах 45, 90 и 135° и отстают от оси на величину угла холостого хода;

способа установки на панели (I — для установки с монтажной, II — для установки с фасадной стороны панели);

обозначения типа замка (А или Б);

номера паспорта переключателя (Д1, Д2 и т.д.).

Например, ПМОФН - 45 557777ПА Д105 — переключатель типа ПМОФ с фиксацией ключа через 45°, подвижными контактами в пакетах типов 5, 5, 7, 7, 7, 7, ключом типа А для замка, устанавливаемый с фасадной стороны панели, и номером паспорта Д105.

Кнопки управления предназначены для подачи оператором управляющего воздействия при управлении различными электромагнитными аппаратами (реле, пускателями, контакторами), а также для коммутирования цепей управления, сигнализации, электрической блокировки и др.

*Кнопки управления* различаются по величине (нормальные и малогабаритные), количеству замыкающих и размыкающих контактов, номинальному току и напряжению, форме и цвету толкателя.

Два, три или более кнопочных элемента, смонтированных в

одном корпусе, образуют кнопочную станцию. Выполняются для монтажа на пульте, стене, полу (ножные) и подвесные.

Различают кнопки управления открытого исполнения (КЕ); переключатели открытого исполнения (ПЕ); кнопочные посты управления на 2, 3, 4 и более кнопочных элементов (ПКЕ).

Кнопки сер. КЕ выпускаются с одним или двумя кнопочными элементами и соответственно с двумя или четырьмя электрически не связанными между собой замыкающими и размыкающими контактами.

*Контроллеры* — многопозиционные электрические аппараты с ручным или ножным приводом для непосредственной коммутации силовых цепей двигателей постоянного тока до 440 В и переменного тока до 500 В.

В управлении крановых электроприводов используются контроллеры двух типов — кулачковые и магнитные. У кулачковых контроллеров размыкание и замыкание контактов обеспечивается смонтированными на барабане кулачками, поворот которых осуществляется с помощью рукоятки маховика или педали; могут коммутировать от 2 до 24 цепей.

Для управления электродвигателями переменного тока используются контроллеры сер. ККТ-61, ККТ-61А, имеющие симметричную для обоих направлений движения механизма замыкания контактов на напряжение 380 В, и сер. ККП-101, ККП — для управления двигателями постоянного тока на напряжение 440 В.

Магнитные контроллеры состоят из командоконтроллера и силовых магнитных аппаратов-контакторов. При замыкании контактов командоконтроллера осуществляется управление катушками контакторов, которые коммутируют силовые цепи электродвигателей.

Достоинство магнитных контроллеров заключается в их возможности повышать степень автоматизации управления электродвигателями.

Выпускаются магнитные контроллеры типа К и ТСА на номинальный ток до 250 А, КС — до 400 А, ТА — 160 А.

**1.3. Задание для выполнения практической работы**

1. Выполнить графические, буквенно-цифровые условные обозначения, составить электрическую схему и монтажные символы кнопок управления и кнопочных станций сер. КЕ и ПКЕ (табл. 1.1).

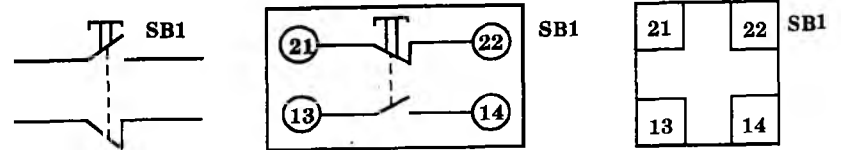
Таблица 1.1

Вариант задания	Кнопки управления	Кнопочные посты
1	КЕ011 исп.1	ПКЕ112-2

2	КЕ021 исп.2	ПКЕ212-2
3	КЕ031 исп.3	ПКЕ112-1
4	КЕ041 исп.4	ПКЕ212-1
5	КЕ081 исп.5	ПКЕ112-3
6	КЕ012 исп.1	ПКЕ212-3
7	КЕ022 исп.2	ПКЕ612-2
8	КЕ032 исп.3	ПКЕ712-2
9	КЕ042 исп.4	ПКЕ213-3
10	КЕ082 исп.5	ПКЕ112-2

**Пример.** Выполнить графические и буквенно-цифровые условные обозначения, составить электрическую схему и монтажный символ кнопки управления КЕ011 исп.2.

**Решение.**



Графическое и буквенно-цифровое обозначение

Схема электрическая — монтажный символ

Монтажный символ упрощенный

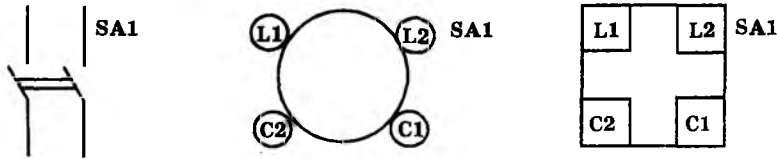
2. Выполнить графические, буквенно-цифровые условные обозначения, составить электрическую схему и монтажные символы пакетных выключателей и переключателей (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Вариант задания	Пакетные выключатели	Пакетные переключатели
1	ПВ 1-10	ПП 3-10/Н2
2	ПВМ 2-10	ПП 2-10/Н3
3	ПВМ 3-10	ПП 2-60/Н2
4	ПВ 3-25	ПП 2-100/Н2
5	ПВ 2-60	ПП 3-25/Н2
6	ПВ 3-60	ПП 3-100/Н2
7	ПВ 3-100	ПП 2-100/Н2
8	ГПВМ 3-25	ПП 2-25/Н2
9	ГПВМ 3-60	ПП 3-10/Н3
10	ГПВМ 3-100	ПП 3-25/Н3

**Пример.**

Выполнить графические, буквенно-цифровые обозначения, составить электрическую схему и монтажный символ пакетного выключателя сер. ПВ 2-25.

**Решение.**

Графическое и буквенно-цифровое обозначение

Схема электрическая — монтажный символ

Монтажный символ упрощенный

3. Составить диаграмму замыкания контактов универсальных переключателей сер. УП 5300, имеющих четыре секции (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Вариант	Переключатель	Вариант	Переключатель
1	-45° — 1 — 2; 7 — 8 0 — 1 — 2; 3 — 4 +45° — 1 — 2; 5 — 6	2	-45° — 3 — 4; 7 — 8 0 — 1 — 2; 3 — 4 +45° — 1 — 2; 5 — 6
3	-45° — 1 — 2; 3 — 4 0 — 1 — 2; 3 — 4; 5 — 6; 7 — 8 +45° — 5 — 6; 7 — 8	4	-45° — 5 — 6; 7 — 8 0 — 1 — 2; 3 — 4 +45° — 5 — 6; 7 — 8
5	-90° — 5; 7; 3 — 4 -45° — 3 — 4; 5 0 — ... +45° — 3 — 4; 2 +90° — 2; 3 — 4; 7	6	-90° — 2; 3 — 4 -45° — 2; 3 — 4; 7 — 8 0 — 2; 3 — 4; 6; 7 — 8 +45° — 3 — 4 +90° — ...
7	-90° — 1 — 2; 3 — 4 -45° — 5 — 6; 7 — 8 0 — ... +45° — 7 — 8; 5 — 6 +90° — 3 — 4; 1 — 2	8	-90° — 1 — 2; 3 — 4 -45° — 5 — 6 0 — ... +45° — 7 — 8 +90° — 3 — 4; 1 — 2
9	-45° — 3 — 4 0 — 5 — 6; 7 — 8 +45° — 1 — 2	10	-90° — 1 — 2 -45° — 3 — 4 0 — ... +45° — 3 — 4 +90° — 1 — 2

Продолжение табл. 1.3

11	-45° — 1 — 2 0 — 5 — 6; 7 — 8 +45° — 3 — 4	12	-90° — 1 — 2 -45° — ... 0 — 3 — 4; 5 — 6; 7 — 8 +45° — ... +90° — 1 — 2
----	--	----	--

**Пример.** Составить диаграмму замыкания контактов универсального переключателя сер. УП 5300, имеющего четыре секции и два фиксированных положения рукоятки от нулевого через 45°:

-45° — замкнуты контакты 3 — 4;

0 — замкнуты контакты 5 — 6; 7 — 8;

+45° — замкнуты контакты 1 — 2.

**Решение.**

Номер секции	Номер контакта		Положение рукоятки					
			-45°		0°		+45°	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
I	1	2					×	×
II	3	4	×	×				
III	5	6			×	×		
IV	7	8			×	×		

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОНТАКТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКА

##### 1.1. Цель работы

Изучить конструкцию и исследовать работу электромагнитных контакторов.

##### 1.2. Оборудование

1.2.1. Комплектный лабораторный стенд.

1.2.2. Исследуемый электрический аппарат: контактор переменного тока сер. КТ7025 УЗ; номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 380$  В;

номинальное напряжение катушки  $U_{\text{ном.к}} = 220$  В (50 Гц); номинальный ток 160 А.

1.2.3. Контактор постоянного тока сер. КП1 УЗ:

номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 220$  В;

номинальное напряжение катушки  $U_{\text{ном.к}} = 110$  В;

номинальный ток  $I_{\text{ном}} = 20$  А.

##### 1.3. Теоретические сведения

*Контактор* — это двухпозиционный аппарат дистанционного управления с самовозвратом, предназначенный для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальном режиме работы.

Основные параметры контакторов:

номинальный ток главных контактов  $I_{\text{ном}}$ ;

предельный отключаемый ток (ток коммутации);

номинальное напряжение коммутируемой цепи  $U_{\text{ном}}$ ;

допустимое число включений за 1 час;

собственное время включения и отключения.

Изготавливают контакторы, рассчитанные на токи коммутации 4...4000 А, напряжение 220, 440, 750 В постоянного и 380, 660, 1140 В переменного тока. Контакторы выпускают одно- и пятиполюсными с управлением на постоянном или переменном токе частотой 50, 60 Гц независимо от рода тока главной цепи; работают они в продолжительном, повторно-кратковременном или кратковременном режимах.

Основные узлы контакторов: контактная и магнитная системы, катушка электромагнита, система вспомогательных кон-

тактов, дугогасительное устройство.

При подаче напряжения на обмотку электромагнита его якорь притягивается, а подвижный контакт, связанный с якорем электромагнита, замыкает или размыкает главную цепь. Дугогасительное устройство обеспечивает быстрое гашение дуги, что обеспечивает меньший износ контактов. Конструкция контактора приведена в [7].

К электромагнитным контакторам общепромышленных серий постоянного тока относят контакторы типа КП, КПВ, КПД; переменного тока — КТ, КТП, КТВ.

Основные параметры контакторов переменного и постоянного тока: собственное время включения  $t_{\text{в}}$  и отключения  $t_{\text{откл}}$ ; коэффициент возврата  $K_{\text{в}}$ , который определяется по формуле

$$K_{\text{в}} = U_{\text{в}} / U_{\text{срб}}, \quad (1.1)$$

где  $U_{\text{в}}$  — напряжение, при котором происходит отпускание якоря при уменьшении напряжения, подаваемого на катушку, В;  $U_{\text{срб}}$  — напряжение, при котором якорь притягивается к полюсам электромагнита, В.

Максимальное напряжение на катушке не должно превышать 110 %  $U_{\text{ном}}$ , так как при большем его значении увеличивается износ контактов из-за усилия ударов якоря, а температура нагрева обмотки может превысить допустимое значение.

Электромагниты контакторов должны обеспечивать надежную работу в диапазоне колебания питающего напряжения 85...110 %  $U_{\text{ном}}$ .

Исследование характеристик электромагнитного контактора постоянного тока производится по схеме, приведенной на рис. 1.1, а переменного тока — по схеме на рис. 1.2. Собственное время включения определяется по схеме на рис. 1.3, а отключения — по схеме на рис 1.4.

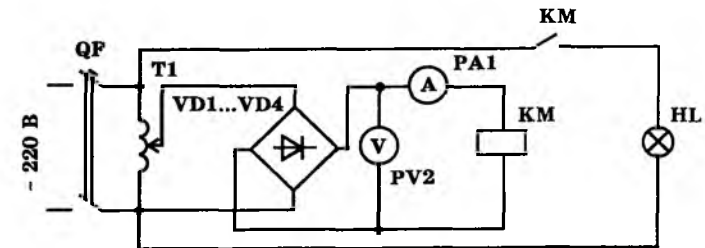


Рис. 1.1. Электрическая схема исследования характеристик контактора постоянного тока



## 1.6. Содержание отчета

- 1.6.1 Цель работы.
- 1.6.2. Электрические схемы исследования контакторов постоянного и переменного тока.
- 1.6.3. Технические параметры исследуемых контакторов.
- 1.6.4. Результаты экспериментальных исследований по табл. 1.1.
- 1.6.5. Выводы по результатам исследований.

## 1.7. Контрольные вопросы

1. С какой целью применяются контакторы переменного и постоянного тока?
2. Каковы основные технические данные контакторов?
3. Перечислите основные элементы контакторов и укажите их назначение.
4. Назовите условия выбора контакторов.
5. На какие токи изготавливаются контакторы?
6. Как осуществляется дугогашение в контакторах переменного тока?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ И МАГНИТНОГО ПУСКАТЕЛЯ

#### 2.1. Цель работы

Изучить назначение, конструкцию и исследовать работу электромагнитных реле и пускателей.

#### 2.2. Оборудование

- 2.2.1. Комплектный лабораторный стенд.
- 2.2.2. Электромагнитное реле постоянного тока сер. РПУ-1: номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$ ; номинальное напряжение катушки  $U_{\text{ном.к}} = 220 \text{ В}$  (50 Гц).
- 2.2.3. Электромагнитный пускатель сер. ПМЛ-11000: номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$ ; номинальное напряжение катушки  $U_{\text{ном.к}} = 220 \text{ В}$  (50 Гц); номинальный ток  $I_{\text{ном}} = 10 \text{ А}$ .

#### 2.3. Теоретические сведения

*Пускатель* — это коммутационный аппарат, предназначенный для управления и защиты электродвигателей переменного тока. Магнитный пускатель состоит из трехполюсного магнитного контактора, вспомогательных контактов, а также тепловых реле для защиты электродвигателей от длительной перегрузки. Конструкция магнитных пускателей приведена в [7].

Магнитные пускатели имеют различное исполнение: непереворсивные и реверсивные с тепловыми реле и без них; открытые, защищенные или пылебрызгозащищенные.

При понижении напряжения сети до  $0,5 \dots 0,6 U_{\text{ном}}$  или перерывах питания якорь включенного магнитного пускателя отпадает и размыкает вспомогательные контакты, блокирующие кнопку «Пуск», и главные контакты в силовой цепи электродвигателя, который отключается от сети. Для повторного включения электродвигателя при восстановлении напряжения необходимо нажать пусковую кнопку. Такая схема включения обеспечивает нулевую защиту.

Магнитный пускатель должен устойчиво работать и не отключать установку при напряжении  $0,85$  от номинального.

Основными характеристиками электромагнитных реле и пускателей являются коэффициенты возврата  $K_{\text{в}}$  и вибрация контактов. Коэффициенты возврата для каждого типа реле нор-



Полученные результаты измерений записать в табл. 2.1.

Эксперимент повторить несколько раз, делая перерывы между опытами во избежание перегрева катушки.

Таблица 2.1

Напряжение срабатывания $U_{срб}$ , В					
Ток при невтянутом якоре $I_{срб}$ , А					
Ток при втянутом якоре $I_{вкл}$ , А					
Напряжение возврата $U_{воз}$ , В					

Произвести вычисления параметров магнитных пускателей по следующим формулам:

$$\text{коэффициент возврата } K_v = U_{воз} / U_{срб};$$

$$\text{кратность пускового тока номинальному } K = I_{срб} / I_{ном}$$

$$\text{номинальная активная мощность } P_{ном} = I^2 R, \text{ Вт};$$

$$\text{номинальная полная мощность } S_{ном} = I_{ном} U_{ном}, \text{ В}\cdot\text{А};$$

$$\text{пусковая полная мощность катушки } S_{пуск} = I_{ср} U_{ном}, \text{ В}\cdot\text{А}.$$

Для электромагнитного реле расчет параметров производится аналогично, кроме номинальной и пусковой полной мощности.

## 2.6. Содержание отчета

2.6.1. Цель работы.

2.6.2. Схемы включения электромагнитного пускателя и реле.

2.6.3. Краткое описание и основные технические характеристики электромагнитных аппаратов, представленных на стенде.

2.6.4. Результаты определения напряжения срабатывания и напряжения возврата электромагнитного пускателя и реле.

2.6.5. Выводы по результатам исследований.

## 2.7. Контрольные вопросы

1. Расскажите о назначении и конструкции магнитных пускателей.

2. Каково назначение короткозамкнутых витков, установленных на сердечнике магнитной системы?

3. Какое исполнение имеют магнитные пускатели сер. ПМЕ?

4. Какова номинальная шкала токов магнитных пускателей сер. ПМЛ?

5. Каково номинальное напряжение и катушек магнитных пускателей?

6. Какие элементы содержит магнитный пускатель?

7. В чем различие между магнитными пускателями и контакторами?

8. Какие серии магнитных пускателей выпускаются электротехнической промышленностью?

9. Как расшифровываются типы магнитного пускателя ПМЛ-1100 и ПМЛ-2501?

10. Как устроено электромагнитное реле сер. РПУ?

11. Для каких целей применяются электромагнитные реле?

12. По каким параметрам выбирают магнитные пускатели?



## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

##### 3.1. Цель работы

Изучить конструкцию низковольтных предохранителей, опытным путем определить защитную характеристику плавкой вставки.

##### 3.2. Оборудование

3.2.1 Комплектный лабораторный стенд.

3.2.2. Предохранитель сер. ПРС-6 со сменными плавкими вставками на ток 1 А (5 шт. на один опыт).

##### 3.3. Теоретические сведения

Предохранители - это электрические аппараты, предназначенные для защиты электрических цепей от токовых перегрузок и токов коротких замыканий (КЗ).

Простота, удобство обслуживания, малые размеры, высокая отключающая способность, небольшая стоимость обеспечили предохранителям широкое распространение в схемах электротехнических устройств.

Предохранители с закрытым разборным патроном без наполнителя сер. ПР2 изготавливаются на напряжение 220 и 500 В при номинальном токе 100...1000 А.

Насыпные предохранители сер. ПН2 широко применяются для защиты силовых цепей до 500 В переменного и 440 В постоянного тока и рассчитаны на номинальный ток 100...600 А. Насыпные предохранители сер. НПН2-63 имеют неразборный стеклянный патрон и рассчитаны на ток до 63 А.

Плавкие предохранители работают в двух режимах: нормальном, а также в режиме перегрузки и коротких замыканий.

Ток, на который рассчитана плавкая вставка для длительной работы, называют номинальным током плавкой вставки.

В предохранителях сер. ПР2 и ПН2 в один и тот же патрон можно вставлять плавкие вставки на ряд номинальных токов. Максимальный ток, указанный на патроне предохранителя, равен максимальному номинальному току плавкой вставки, предназначенной для данной конструкции предохранителя. Предохранители не должны отключать электрическую цепь при протекании условного тока неплавления и должны отключать ее при протекании условного тока плавления в течение определенного времени, зависящего от номинального тока.

Для уменьшения времени срабатывания в предохранителях применяются плавкие вставки из различного материала специальной формы, а также используется металлургический эффект. Наиболее распространенными материалами плавких вставок яв-

ляются медь, цинк, алюминий, свинец и серебро. Конструкция плавких предохранителей приведена в [7].

Важной характеристикой предохранителя является зависимость времени плавления плавкой вставки от кратности пускового тока номинальному, которая называется защитной характеристикой (рис. 3.1). При постоянной величине тока время плавления вставки зависит также от материала вставки, состояния ее поверхности, условий охлаждения. Поэтому, для того чтобы получить более точное время плавления при исследовании защитной характеристики предохранителей, необходимо проделать несколько опытов, устанавливая две-три плавкие вставки одного и того же номинального тока на каждый опыт, изменяя кратность тока в пределах (2...8)  $I_{ном}$  по схеме на рис. 3.2.

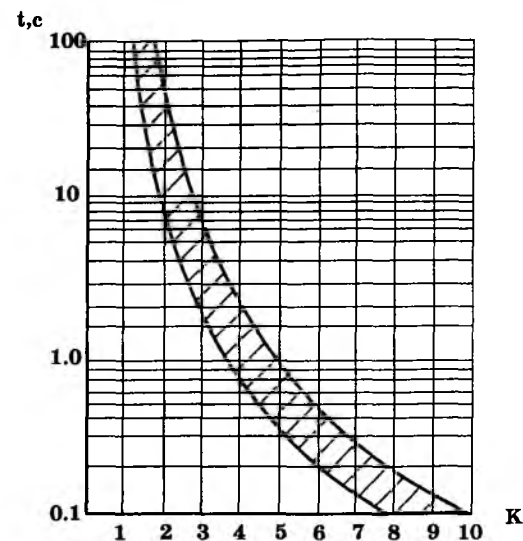


Рис. 3.1. Защитная характеристика предохранителя

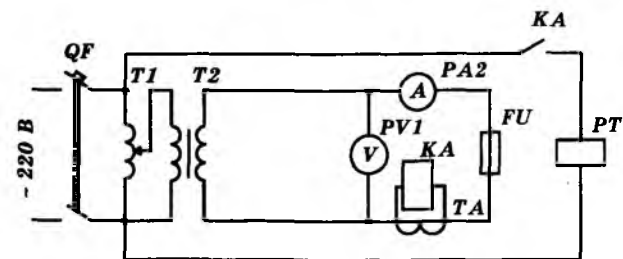


Рис. 3.2. Схема электрическая исследования защитной характеристики плавких предохранителей

### 3.4. Схема стенда лабораторной установки (рис. 3.3)

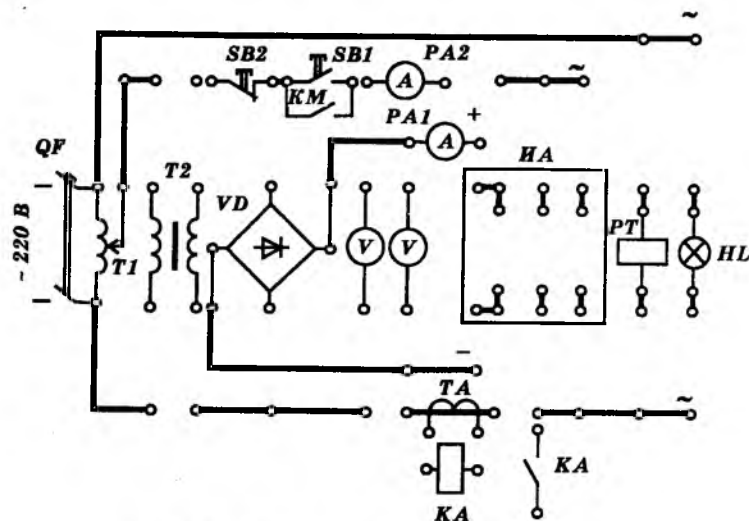


Рис. 3.3. Стенд лабораторной установки

### 3.5. Порядок выполнения работы

3.5.1. Собрать электрическую цепь на стенде.

После ее проверки преподавателем выполнить по порядку все операции, указанные в инструкции.

3.5.2. Произвести пробное включение напряжения на стенде вводным автоматическим выключателем *QF*.

3.5.3. Вместо исследуемого предохранителя *FU* установить перемычку (аналогичный предохранитель с мощной металлической связью).

3.5.4. Включить напряжение выключателем *QF* и с помощью регулятора напряжения *T1* установить величину, соответствующую кратности тока срабатывания номинальному току исследуемого предохранителя. Отключить стенд и обнулить секундомер *PT*.

3.5.5. Снять перемычку и установить исследуемый предохранитель. Включить стенд. Время плавления (перегорания) плавкой вставки будет зафиксировано остановкой секундомера.

3.5.6. Отключить стенд от сети. Записать показания секундомера и обнулить его.

3.5.7. Заменить плавкую вставку предохранителя. Повторить эксперимент для других значений кратности тока. Результаты опыта записать в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Время, с	Ток, А				
	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$
$t_l$					
$t_{ср}$					

### 3.6. Содержание отчета

3.6.1. Цель работы.

3.6.2. Схема лабораторной установки исследования плавких вставок предохранителей.

3.6.3. Результаты экспериментальных исследований в виде табл. 3.1 и зависимости  $t_{ср} = f(I)$ .

3.6.4. Выводы по результатам исследований.

### 3.7. Контрольные вопросы

1. Какие предохранители применяются в схемах электротехнических устройств?

2. Для каких целей применяют плавкие предохранители?

3. Какую шкалу номинальных токов имеют плавкие вставки предохранителей сер. ПН2?

4. Какую шкалу номинальных токов имеют плавкие вставки предохранителей серии НПН2-63?

5. Каковы достоинства и недостатки плавких предохранителей?

6. Назовите основную характеристику плавких предохранителей.

7. Назовите типы насыпных предохранителей.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И УСЛОВИЯ ВЫБОРА ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ, ТЕПЛОВЫХ РЕЛЕ, АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

#### 2.1. Цель работы

Изучить условия выбора аппаратов защиты.

#### 2.2. Теоретические сведения

Согласно [1], для защиты электродвигателей от коротких замыканий (КЗ) должны применяться предохранители или автоматические выключатели. Номинальные токи плавких вставок предохранителей и расцепителей автоматических выключателей должны выбираться таким образом, чтобы обеспечить надежное отключение КЗ на зажимах электродвигателя и вместе с тем не отключение этой защитой электродвигателей при номинальных для данной установки толчках тока (пиках технологических нагрузок, пусковых токах, токах самозапуска и т.п.). С этой целью для электродвигателей механизмов с легкими условиями пуска отношение пускового тока электродвигателя к номинальному току плавкой вставки должно быть не более 2,5, а с тяжелыми условиями пуска (большая длительность разгона, частые пуски и т.п.) — равным 1,6...2,0.

При защите электроприемников (электродвигателей) необходимо учитывать и защиту электрической сети. Если ответвление питает только один электродвигатель, то защита ответвления совмещается с защитой электродвигателя.

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

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 грузоподъемных механизмов, защита от перегрузки не выполняется.

Аппараты, установленные для защиты от коротких замыканий и перегрузки, должны выбираться таким образом, чтобы номинальный ток каждого из них  $I_{\text{ном.з.а}}$  был не менее номи-

нального тока электродвигателя (электроприемника)  $I_{\text{ном}}$  или расчетного тока  $I_{\text{расч}}$  рассматриваемого участка сети:

$$I_{\text{ном.з.а}} \geq I_{\text{ном}}(I_{\text{расч}}). \quad (2.1)$$

#### Выбор плавких вставок предохранителей

Для электродвигателей, работающих в продолжительном режиме, величина тока плавкой вставки  $I_{\text{ном.пл.вст}}$  предохранителя должна удовлетворять условию

$$I_{\text{ном.пл.вст}} \geq I_{\text{пуск}}/\alpha, \quad (2.2)$$

где  $I_{\text{пуск}}$  — пусковой ток электродвигателя, А;

$\alpha$  — 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).

#### Выбор уставок тепловых реле

Тепловые реле для электродвигателей, работающих в продолжительном режиме, выбираются по номинальному току  $I_{\text{ном}}$  электродвигателя по условию

$$I_{\text{ном.т.р}} \geq I_{\text{ном}}. \quad (2.3)$$

#### Выбор расцепителей автоматических выключателей

Номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя для электродвигателя или линии электрической сети, питающей группу электродвигателей, выбирается по номинальному току  $I_{\text{ном}}$  электродвигателя или расчетному  $I_{\text{расч}}$  току линии по условию

$$I_{\text{ном.т.р}} \geq I_{\text{ном}}(I_{\text{расч}}). \quad (2.4)$$

При затяжных условиях пуска электродвигателя тепловой расцепитель автоматического выключателя следует увеличить на 15...25%; т.е. условие 2.4 примет вид

$$I_{\text{ном.т.р}} \geq (1,15...1,25)I_{\text{ном}}(I_{\text{расч}}). \quad (2.5)$$

Номинальный ток электромагнитного расцепителя выбирается по длительному расчетному току  $I_{\text{расч}}$  электродвигателя или линии электрической сети по условию

$$I_{\text{эл.м.расц}} \geq I_{\text{расч}}. \quad (2.6)$$

Ток срабатывания (отсечка) электромагнитного расцепителя проверяется по максимальному кратковременному току  $I_{\text{кр}}$  линии (установки) по условию

$$I_{\text{ср.эл.м.расц(отс)}} \geq 1,25 I_{\text{кр}} \quad (2.7)$$

Для одиночного электродвигателя  $I_{\text{кр}}$  равен  $I_{\text{пуск}}$ .

Максимальный кратковременный ток  $I_{\text{кр}}$  можно определить по выражению

$$I_{\text{кр}} = I_{\text{пуск.макс}} + \sum I_{\text{ном}} \quad (2.8)$$

где  $I_{\text{пуск.макс}}$  — пусковой ток максимального по мощности электродвигателя, А;  $\sum I_{\text{ном}}$  — сумма номинальных токов остальных электродвигателей в группе, кроме  $I_{\text{ном.макс}}$  электродвигателя, А.

Пусковой ток электродвигателей определяется как произведение номинального тока и кратности пускового тока  $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$ , которая приводится в технических данных электродвигателей (прил. 1 табл. 8).

### 2.3. Задание для выполнения практической работы

По табл. 2.1 выбрать аппараты защиты от токов короткого замыкания и длительной перегрузки асинхронных электродвигателей сер. 4А. Технические характеристики аппаратов защиты приведены в табл. 1...7 прил. 1.

Таблица 2.1

Вариант задания	Тип электродвигателя	Плавкие предохранители	Тепловые реле	Автоматические выключатели
1	4А90Л2У3	НПН	РТЛ	ВА
2	4А112М2У3	НПН	РТЛ	ВА
3	4А160С2У3	ПН2	РТЛ	ВА
4	4А180М2У3	ПН2	РТЛ	ВА
5	4А100С2У3	НПН	РТЛ	ВА
6	4А132М2У3	НПН	РТЛ	ВА
7	4А80В2У3	ПР2	РТЛ	АП50
8	4А80А2У3	ПР2	РТЛ	АП50
9	4А200М2У3	ПН2	РТЛ	АЗ700
10	4А225М2У3	ПН2	РТЛ	АЗ700

**Пример.** Рассчитать параметры и выбрать аппараты защиты: плавкие предохранители сер. НПН, тепловое реле сер. РТЛ, автоматический выключатель сер. АП50 для асинхронного электродвигателя сер. 4А100Л4У3.

**Решение.** Технические характеристики электродвигателя:

$$P_{\text{ном}} = 4,0 \text{ кВт}; \quad I_{\text{ном}} = 8,6 \text{ А}; \quad n_{\text{ном}} = 1430 \text{ об/мин};$$

$$I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}} = 6.$$

Выбор предохранителей производится по двум условиям:

$$1. I_{\text{пл.вст}} \geq I_{\text{ном.дв}},$$

$$10 \text{ А} > 8,6 \text{ А}.$$

$$2. I_{\text{пл.вст}} \geq I_{\text{пуск}}/\alpha,$$

$$25 \text{ А} > 51,6/2,5 = 20,64 \text{ А},$$

где  $I_{\text{пуск}} = 6I_{\text{ном}} = 6 \cdot 8,6 = 51,6 \text{ А}$ ;  $\alpha = 2,5$  — нормальные условия пуска электродвигателя.

Из двух приведенных условий наиболее приемлемо большее значение тока плавкой вставки предохранителя, так как это удовлетворяет условиям пуска электродвигателя. Следовательно, выбираем предохранители сер. НПН2-63-25.

Выбор теплового реле производится по току номинальному электродвигателя по условию

$$I_{\text{ном.т.р}} \geq I_{\text{ном.дв}},$$

$$10 \text{ А} > 8,6 \text{ А}.$$

Выбираем тепловое реле сер. РТЛ-1014 с диапазоном регулирования тока уставки 7...10 А.

Автоматический выключатель выбирается по двум условиям:

$$1. I_{\text{ном.т.расц}} \geq (1,15...1,25) I_{\text{ном.дв}},$$

$$10 \text{ А} > 1,5 \cdot 8,6 = 9,86 \text{ А}.$$

$$2. I_{\text{ср.эл.м.расц}} \geq 1,25 I_{\text{пуск}},$$

$$11 I_{\text{ном.т.расц}} > 1,25 \cdot 51,6 \text{ А},$$

$$11 \cdot 10 > 64,5 \text{ А},$$

$$110 > 64,5 \text{ А},$$

где  $11I_{\text{ном.т.расц}}$  — кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя (отсечка) (прил. 1, табл. 5).

Электромагнитный расцепитель (отсечка) выключателя не должен срабатывать при пуске электродвигателя, следовательно, выбираем автоматический выключатель сер. АП50 50/10 на номинальный ток расцепителя 10 А.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЛЕ

#### 4.1. Цель работы

Изучить назначение, конструкцию и исследовать работу тепловых реле.

#### 4.2. Оборудование

4.2.1. Комплектный лабораторный стенд.

4.2.2. Электротепловое реле сер. РТЛ-1006,  $I_{\text{ном}} = 1,3 \text{ А}$ , пределы регулирования тока уставки  $I_{\text{ном}} = 0,95 \dots 1,6 \text{ А}$ .

#### 4.3. Теоретические сведения

Долговечность электрического оборудования и электродвигателей в значительной степени зависит от перегрузок, которым они подвергаются во время работы.

Для защиты электрического оборудования и электродвигателей от длительных перегрузок широкое распространение получили тепловые реле с биметаллическими элементами, состоящие из двух пластин с различным коэффициентом линейного расширения ( $\alpha$ ) при нагревании. Пластины жестко скрепляются друг с другом путем проката в горячем состоянии либо контактной сваркой.

В тепловых реле используют биметаллические элементы из таких материалов, как инвар, имеющий малое значение  $\alpha$ , и хромоникелевая сталь, имеющая большое значение  $\alpha$ .

Если биметаллический элемент закрепить с одной стороны и нагреть, то произойдет его изгибание в сторону материала с меньшим коэффициентом линейного расширения. Это явление используется в тепловых реле. Изгибаясь, биметаллическая пластина действует на защелку, и при этом происходит переключение контактов реле. В схемах защиты электродвигателей используются замыкающие контакты, действующие на сигнал, или размыкающие контакты реле, действующие на отключение электродвигателя от сети. Конструкция тепловых реле приведена в [7].

Нагрев биметаллического элемента может производиться за счет тепла, выделяемого при прохождении тока нагрузки в самой пластине или в специальном нагревательном элементе. Основной характеристикой теплового реле является зависимость времени срабатывания  $t_{\text{срб}}$  от тока нагрузки  $I_{\text{ном}}$ , которая называется защитной характеристикой  $t_{\text{срб}} = f(I_{\text{ном}})$ . Из-за инерционности теплового процесса тепловые реле, имеющие биметаллический элемент, непригодны для защиты цепей от токов коротких замыканий. Нагревательные элементы в данном случае могут перего-

реть до срабатывания реле. Поэтому защита с помощью таких реле должна быть дополнена плавкими предохранителями или автоматическими выключателями.

Температура биметаллического элемента зависит от температуры окружающей среды, с повышением которой ток срабатывания реле уменьшается.

Проверка срабатывания тепловых расцепителей и исследование защитной характеристики тепловых реле производится по схеме 1, приведенной на рис.4.1.

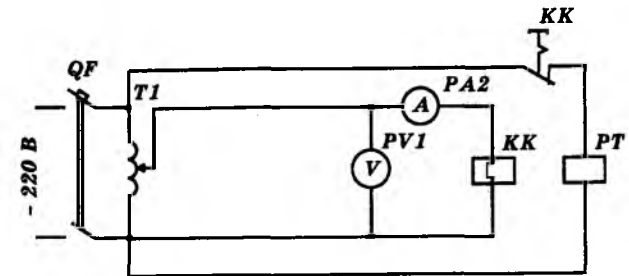


Рис. 4.1. Схема электрическая исследования защитной характеристики тепловых реле

Электротехническая промышленность выпускает тепловые реле однополюсные, двухполюсные сер. ТРП, двухполюсные сер. ТПН и трехполюсные сер. РТЛ. В схемах электротехнических устройств тепловые реле устанавливаются самостоятельно и в комплекте с магнитными пускателями.

Технические характеристики распространенных серий магнитных пускателей и тепловых реле приведены в табл. 1 прил. 1.

#### 4.4. Схема стенда лабораторной установки (рис. 4.2)

#### 4.5. Порядок выполнения работы

4.5.1. Собрать электрическую цепь на стенде. После проверки ее преподавателем выполнить по порядку все операции, указанные в инструкции.

4.5.2. Произвести включение напряжения на стенд вводным автоматическим выключателем  $QF$ .

4.5.3. Регулятором напряжения  $T1$  установить ток в реле требуемой кратности по отношению к номинальному и определить время отключения реле. Повторить опыт для кратностей тока 1,2; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0. Перед повторением эксперимента необходимо сделать перерыв для полного охлаждения теплового элемента реле.

Результаты эксперимента записать в табл. 4.1.

4.5.4. По результатам эксперимента построить зависимость времени срабатывания от тока нагрузки  $t_{\text{срб}} = f(I_{\text{ном}})$ .

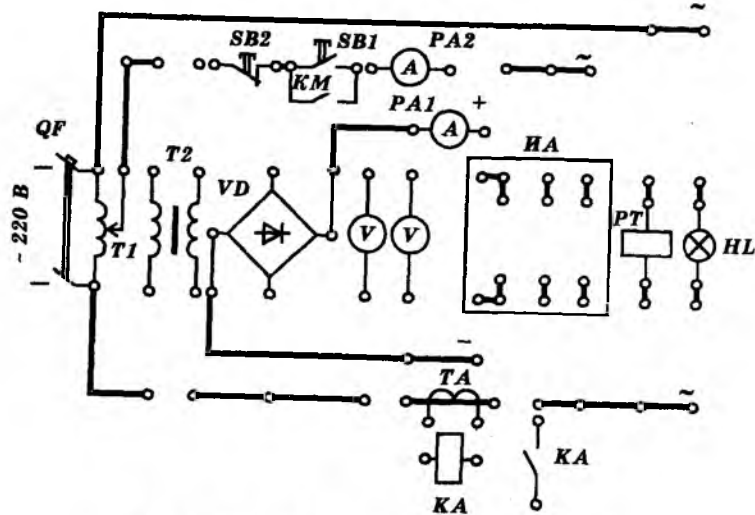


Рис 4.2. Схема лабораторной установки

Таблица 4.1

Номер опыта	1	2	3	4	5
Кратность тока $I_{исп} / I_{ном}$	1,2	1,5	2,0	3,0	4,0
Время срабатывания реле $t_{срб}$ , с					

#### 4.6. Содержание отчета

- 4.6.1. Цель работы.
- 4.6.2. Электрическая схема исследования тепловых реле.
- 4.6.3. Результаты экспериментальных исследований.
- 4.6.4. График зависимости времени срабатывания от тока нагрузки  $t_{срб} = f(I_{ном})$ .
- 4.6.5. Выводы по результатам исследований.

#### 4.7. Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняют тепловые реле в схемах электротехнических устройств?
2. По какому принципу устроены нагревательные элементы тепловых реле?
3. Какую шкалу номинальных токов имеют тепловые реле сер. РТЛ?
4. Тепловые реле каких серий выпускает электротехническая промышленность?
5. Какую конструкцию имеют тепловые реле сер. РТЛ?
6. Какие виды контактов имеют тепловые реле сер. РТЛ?
7. Какой вид имеет защитная характеристика тепловых реле?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОВОГО РЕЛЕ

#### 5.1. Цель работы

5.1. Изучить конструкцию, назначение токовых реле различных типов и исследовать работу реле сер. РТ-40.

#### 5.2. Оборудование

- 5.2.1. Комплектный лабораторный стенд.
- 5.2.2. Токое реле сер. РТ 40/2,  $I_{ном} = 0,5...1$  А.

#### 5.3. Теоретические сведения

В схемах релейной защиты систем электроснабжения наиболее распространены токовые реле электромагнитной и индукционной систем.

Приводы ряда высоковольтных выключателей имеют встроенные реле мгновенного действия сер. РТМ и реле с выдержкой времени сер. РТВ.

Реле сер. РТВ имеют токи уставки ( $I_{уст}$ ) 5; 7; 8; 10; 12,5; 15 А и четыре варианта исполнения с регулированием тока уставки: РТМ-1 — от 5 до 15 А; РТМ-2 — от 10 до 25 А; РТМ-3 — от 30 до 60 А; РТМ-4 — от 75 до 150 А.

Реле сер. РТВ имеют шесть вариантов исполнения с диапазоном уставки номинальных отключающих токов 5...35 А и ограниченную зависимую характеристику выдержки времени от 0 до 4 с.

Реле тока сер. РТ-80 имеет комбинированную конструкцию и состоит из электромагнитного и индукционного элементов.

В этой серии выпускаются реле РТ-81 — РТ-86, РТ-91 и РТ-95, сходные между собой по устройству и принципу действия, но отличающиеся характеристиками, числом или конструкцией контактов. Электромагнитные реле мгновенного действия сер. РТ-40 применяются в схемах максимально-токовой защиты электрооборудования. Конструкция реле представлена на рис. 5.1. Реле состоит из электромагнита (1), обмотки из двух катушек (2), якоря (5), укрепленного на оси с подвижным мостом (3), и спиральной противодействующей пружины (4).

Когда электромагнитная сила токового реле больше механической силы пружины, якорь притягивается к электромагниту. При этом подвижный контактный мост замыкает одну пару и размыкает вторую пару неподвижных контактов.

Уставка срабатывания реле сер. РТ-40 плавно регулируется натяжением пружины и ступенчато переключением катушек обмотки с последовательной схемы на параллельную (рис. 5.2). При этом значение шкалы реле изменяется в 2 раза.

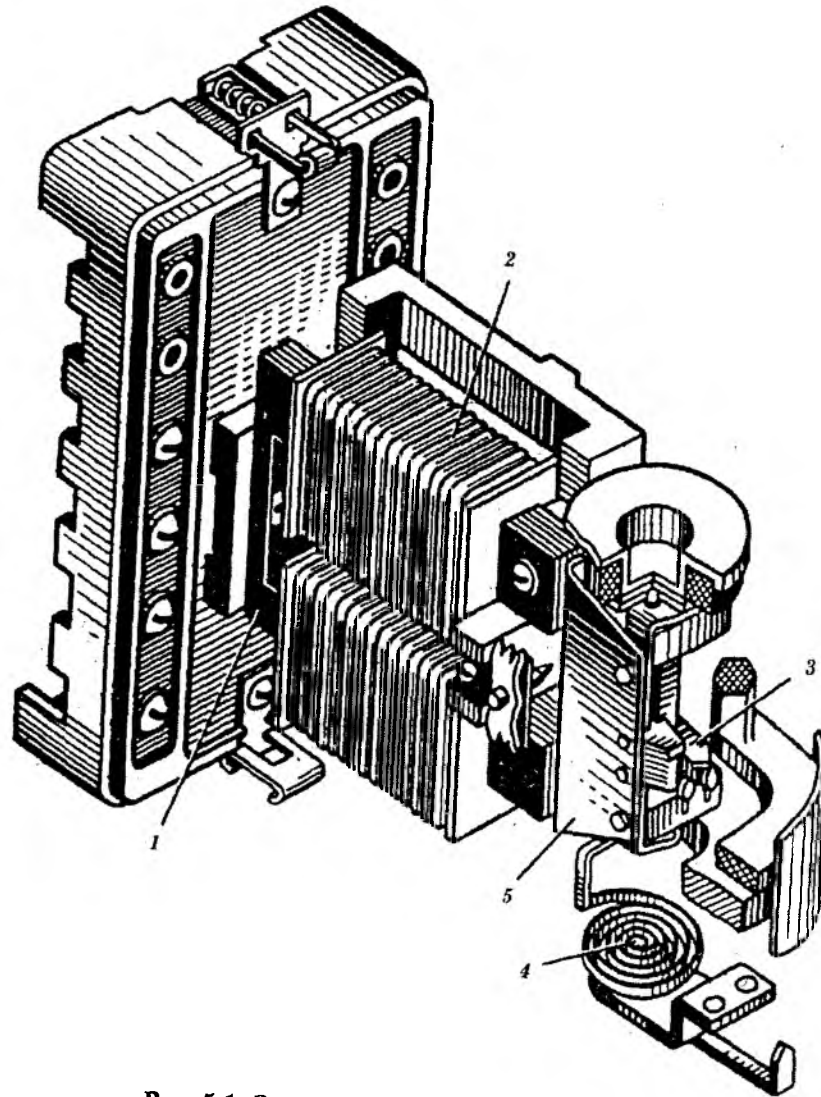


Рис. 5.1. Электромагнитное реле сер. РТ-40

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

Конструкция токовых реле сер. РТ-40, РТ-80 и др. приведена в [8].

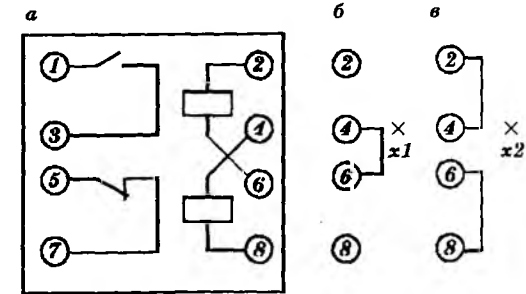


Рис. 5.2. Схемы соединений обмоток реле:  
 а — монтажный символ реле;  
 б — последовательное соединение;  
 в — параллельное соединение

Важными показателями качества регулирования реле являются коэффициент возврата  $K_v$  и вибрация контактов. У реле максимального тока коэффициент возврата должен быть 0,8...0,85.

Ток срабатывания и величину тока возврата токового реле сер. РТ-40 можно проверить опытным путем по схеме (см. рис. 5.3).

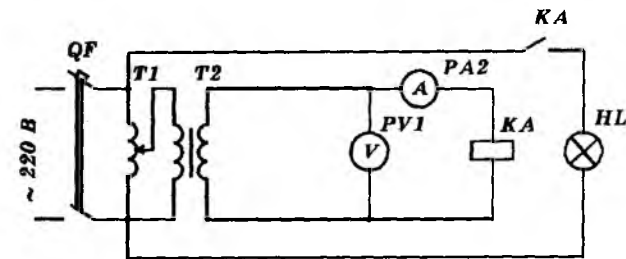


Рис. 5.3. Схема электрическая исследования токового реле

#### 5.4. Схема стенда лабораторной установки (рис. 5.4)

#### 5.5. Порядок выполнения работы

5.5.1. Собрать электрическую цепь на стенде. После проверки ее преподавателем выполнить по порядку все операции, указанные в инструкции.

5.5.2. Включить напряжение на стенд выключателем  $QF$ . Регулятором напряжения  $T1$  увеличивать ток нагрузки до момента срабатывания реле (ламповый индикатор погаснет). Зафиксировать величину тока срабатывания  $I_{срб}$  реле.

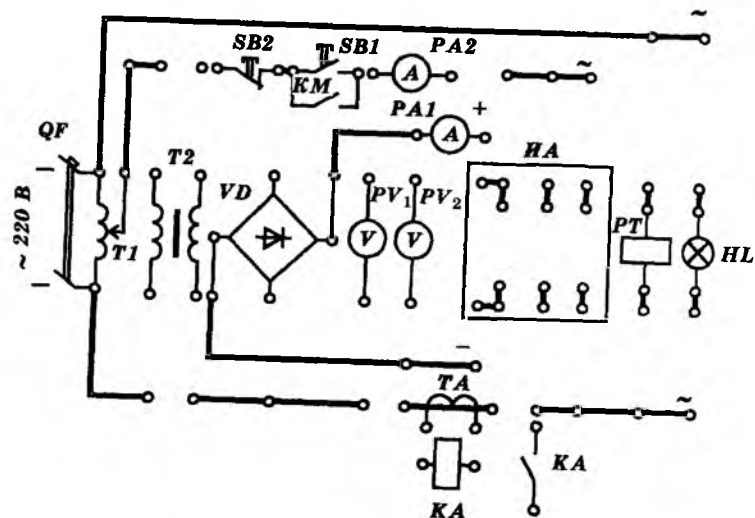


Рис. 5.4. Стенд лабораторной установки

5.5.3. Уменьшить регулятором величину тока до момента отпускания реле (индикатор вновь загорится). Зафиксировать показания тока возврата  $I_{\text{воз}}$ .

5.5.4. Повторить опыт несколько раз при изменении значения тока уставки. Результаты записать в табл. 5.1.

Таблица 5.1

$I_{\text{уст}}, \text{A}$	$I_{\text{срб}}, \text{A}$			$I_{\text{воз}}, \text{A}$			$I_{\text{воз. ср}}, \text{A}$	$K_{\text{в}}$	$\Delta I, \%$
	1	2	3	1	2	3			

По формулам определить:

среднее значение тока срабатывания

$$I_{\text{срб. ср}} = I_{\text{срб1}} + I_{\text{срб2}} + I_{\text{срб3}}/3, \text{A};$$

коэффициент возврата

$$K_{\text{в}} = I_{\text{воз. ср}}/I_{\text{срб. ср}};$$

относительную погрешность

$$\Delta I = I_{\text{уст}} - I_{\text{срб. ср}}/I_{\text{уст}} \cdot 100\%.$$

## 5.6. Содержание отчета

5.6.1. Цель работы.

5.6.2. Электрическая схема исследования токового реле.

5.6.3. Результаты исследований.

5.6.4. Выводы по результатам исследований.

## 5.7. Контрольные вопросы

1. Каковы пределы уставок тока срабатывания реле при последовательном соединении катушек?

2. Каковы пределы уставок тока срабатывания реле при параллельном соединении катушек?

3. Как регулируется уставка тока срабатывания реле сер. РТ-40?

4. Какие серии токовых реле применяются в схемах электротехнических устройств?

5. Перечислите элементы токового реле сер. РТ-40.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

#### 6.1. Цель работы

Изучить назначение, конструкцию и исследовать работу автоматических выключателей общепромышленного применения.

#### 6.2. Оборудование

6.2.1. Комплектный лабораторный стенд.

6.2.2. Автоматический выключатель сер. ВА51Г-25:  
 $I_{ном} = 0,5 \text{ А}$ ;  $I_{отс} = 12I_{ном}$ .

#### 6.3. Теоретические сведения

Автоматические выключатели общепромышленного применения относятся к аппаратам защиты и предназначены для автоматического отключения электрических цепей при токах перегрузки и коротких замыканий, а также для нечастых включений-отключений вручную номинальных токов нагрузки.

Автоматические выключатели имеют максимально-токовую защиту, отрегулированную на заводе-изготовителе.

Конструкция автоматических выключателей содержит следующие узлы: токоведущую часть, дугогасительную систему, привод, тепловой и электромагнитный расцепитель (отсечка). Для предотвращения возможности соприкосновения персонала с частями, находящимися под напряжением, автоматические выключатели закрыты пластмассовой крышкой.

Работает автоматический выключатель следующим образом. Ток нагрузки протекает по контактам 2 автомата (рис. 6.1), нагреватель 9 теплового расцепителя и катушку 6 электромагнитного расцепителя (реле максимального тока). При коротком замыкании в цепи, в которой установлен автоматический выключатель, сердечник 7 максимального реле втягивается в катушку и толкателем 5 воздействует на рычаг 4. Рычаг поворачивается и освобождает защелку 3. Под действием пружины 1 силовые контакты выключателя размыкаются и происходит автоматическое отключение электроприемника от сети.

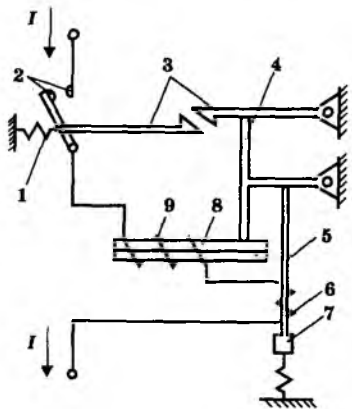


Рис. 6.1. Схема автоматического выключателя

При перегрузке цепи, когда ток в ней больше номинального, но меньше тока короткого замыкания,

происходит срабатывание теплового расцепителя и автоматическое отключение выключателя. Ток перегрузки, проходя по нагревателю теплового реле, вызывает нагрев биметаллической пластины 8. В результате этого свободный конец пластины поднимается вверх и через рычаг воздействует на защелку, вызывая отключение выключателя и размыкание контактов.

Автоматические выключатели общего назначения широко применяются для коммутации и защитного отключения силовых электрических цепей управления переменного и постоянного тока.

Распространенные серии автоматических выключателей АП50Б, АЕ1000, АЕ2000, АЗ700, ВА различаются между собой количеством контактов (полюсов), уровнем номинального тока и напряжения, набором и исполнением реализуемых защит, отключающей способностью, временем отключения.

Диапазон номинальных токов автоматических выключателей 0,32...10 000 А. Время отключения различных выключателей находится в пределах от 0,02 до 1 с.

Защитная характеристика автоматического выключателя представлена на рис. 6.2. Максимальный электромагнитный расцепитель имеет обратную зависимость от тока выдержку при токах КЗ (участок CD). Уставка по току регулируется в зонах перегрузки и КЗ (отсечки). Время срабатывания регулируется при  $I_{ном}$ , кратности тока 3...10  $I_{ном}$  и токах короткого замыкания.

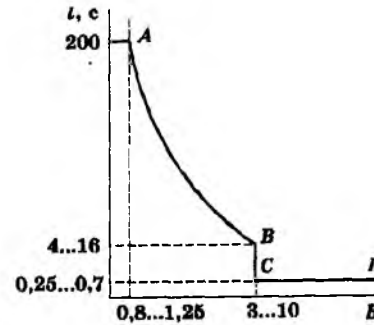


Рис. 6.2. Защитная характеристика автоматического выключателя

В автоматических выключателях с электромагнитными расцепителями выдержка времени в независимой от тока части характеристики обеспечивается часовым анкерным механизмом, в зависимой — регулированием силы притяжения якоря электромагнита к сердечнику.

Автоматические выключатели с электротепловыми биметаллическими расцепителями обеспечивают обратную зависимость характеристики при перегрузках.

Исследования защитной (времятоковой) характеристики автоматического выключателя производятся по схеме (рис. 6.3).

Ток срабатывания максимального расцепителя автоматического выключателя не должен отличаться более чем на 10...13 % от указанного в паспорте выключателя. У тепловых реле время

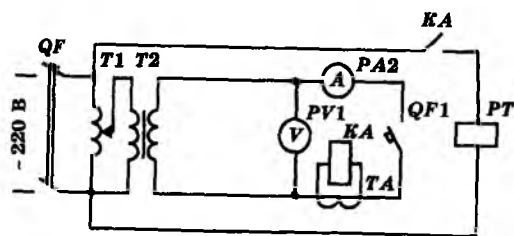


Рис. 6.3. Электрическая схема исследования токового реле

срабатывания в нескольких точках при кратности в пределах  $2...5 I_{ном}$ .

Технические данные распространенных серий автоматических выключателей приведены в прил. 1 табл. 4 — 7.

#### 6.4. Схема стенда лабораторной установки (рис. 6.4)

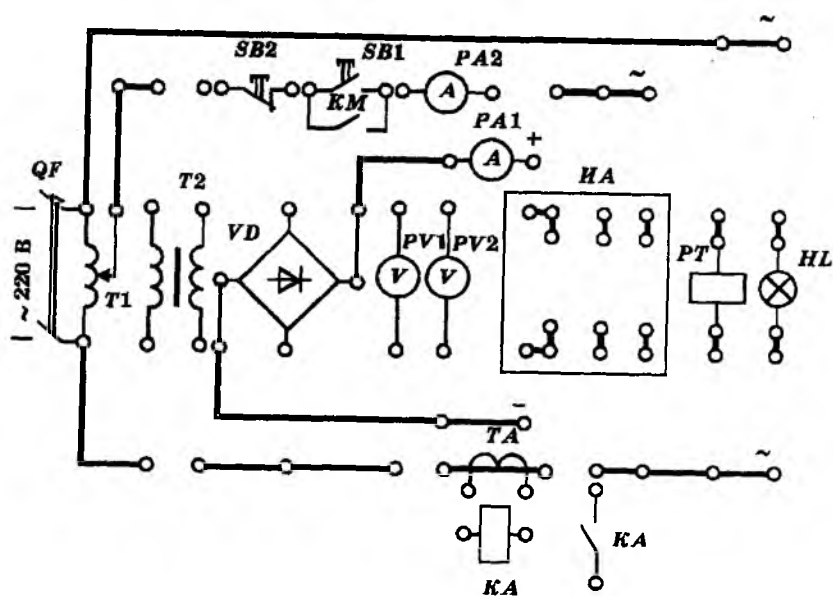


Рис. 6.4. Стенд лабораторной установки

#### 6.5. Порядок выполнения работы

6.5.1. Собрать электрическую цепь на стенде. После проверки ее преподавателем выполнить по порядку все операции, указанные в инструкции.

6.5.2. Убедиться, что вводной автоматический выключатель  $QF$  отключен.

6.5.3. Установить перемычку во вторичную обмотку понижающего трансформатора  $T2$ . При этом исследуемый выключатель  $QF1$  должен быть отключен.

6.5.4. Включить напряжение на лабораторный стенд и регулятором напряжения  $T1$  установить номинальный ток во вторичной обмотке трансформатора  $T2$ , равный току срабатывания электромагнитного расцепителя (отсечки) и соответствующий кратности для данной серии исследуемого автоматического выключателя.

6.5.5. Отключить стенд от сети, снять перемычку и включить исследуемый выключатель.

6.5.6. Включить напряжение на стенд. Время срабатывания расцепителя выключателя зафиксирует секундомер  $PT$ .

6.5.7. Исследовать тепловой расцепитель, последовательно увеличивая величину тока на  $25...30\%$  (до двух- трехкратного превышения значения по отношению к току номинального автомата). Время срабатывания зафиксировать по показаниям секундомера.

Результаты опыта записать в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Тип выключателя	Тепловой расцепитель			Отсечка	
	$I_{ном}, A$	$I_{срб}, A$	$t_{срб}, c$	$I/I_{ном}$	$t_{срб}, c$

#### 6.6. Содержание отчета

6.6.1. Цель работы.

6.6.2. Схема исследования защитной характеристики автоматического выключателя.

6.6.3. Параметры и технические характеристики исследуемых автоматических выключателей.

6.6.4. Результаты экспериментальных исследований.

6.6.5. Построить зависимость  $t_{срб} = f(I_{срб})$ .

6.6.6. Выводы по результатам исследований.

#### 6.7. Контрольные вопросы

1. Для каких целей применяются автоматические выключатели?

2. Какие распространенные серии автоматических выключателей применяются в схемах электротехнических устройств?

3. Как устроен тепловой расцепитель автоматических выключателей?

4. Как устроен электромагнитный расцепитель автоматических выключателей?

5. Какую шкалу номинальных токов имеют автоматические выключатели сер. ВА?

# БЕСКОНТАКТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДАТЧИКИ

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

#### 7.1. Цель работы

Изучить конструкцию, принцип действия и исследовать работу реле времени.

#### 7.2. Оборудование

7.2.1. Комплектный лабораторный стенд.

7.2.2. Реле времени серии ВЛ-56 УХЛ4: номинальное напряжение  $U_{ном}=220$  В; выдержка времени 0,1...10 мин.

#### 7.3. Теоретические сведения

При построении схем управления по принципу времени используются различные реле: электромагнитные, моторные, электронные, анкерные, пневматические.

Выдержка времени в электромагнитных реле обеспечивается за счет замедления возврата якоря в исходное положение; в электронных — за счет емкости конденсатора; в пневматических — за счет работы воздушного (пневматического) замедлителя, управляемого с помощью электромагнита.

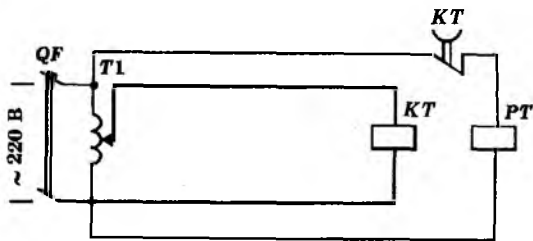


Рис. 7.1. Электрическая схема исследования реле времени

Электромагнитные реле времени сер. РЭВ811 — РЭВ818 обеспечивают выдержку времени от 0,25 до 5,5 с и изготавливаются с катушками на напряжение постоянного тока 12, 24, 48, 110, 220 В. Реле времени РЭВ81 обеспечивают выдержку времени от 0,15 до 4 с. Электронное реле сер. ВЛ-44 обеспечивает выдержку времени 3...30 с, сер. ВЛ-46 — 0,1...100 с, сер. ВЛ-56 — от 0,1 до 10 мин. Пневматическое реле типа РВП72 обеспечивает диапазон выдержки времени 0,4...180 с. Моторные (электрохимические) реле типа Е510 и РБ4 обеспечивают выдержку времени до нескольких минут.

Конструкция реле времени различных систем приведена в [4].

Время срабатывания реле определяют по электронному секундомеру по схеме (рис. 7.1).

#### 7.4. Схема стенда лабораторной установки (рис. 7.2)

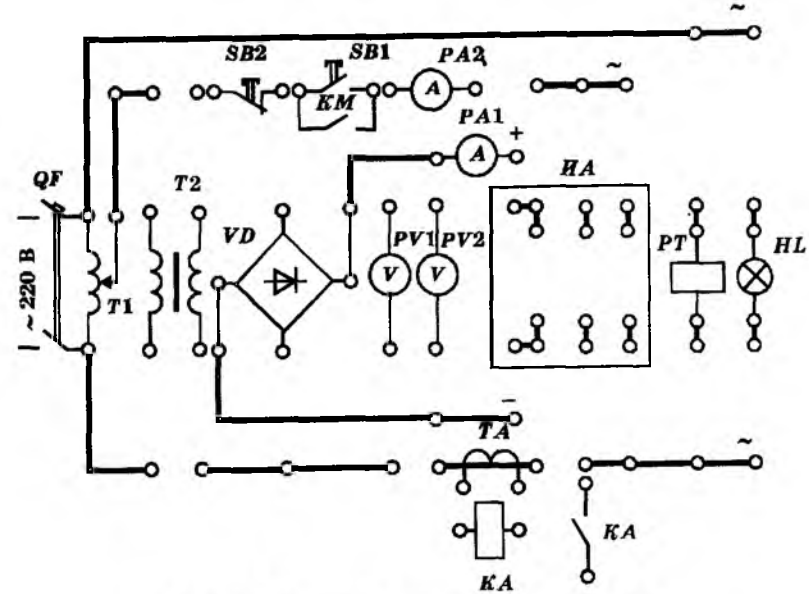


Рис. 7.2. Стенд лабораторной установки

#### 7.5. Порядок выполнения работы

7.5.1. Собрать электрическую цепь на стенде. После проверки ее преподавателем выполнить по порядку все операции, указанные в инструкции.

7.5.2. Подключить исследуемое реле времени.

7.5.3. Установить уставку реле по заданию преподавателя.

7.5.4. Включить напряжение на стенд. При этом срабатывает реле и секундомер РТ начинает отсчет времени. После завершения процесса секундомер отключают и фиксируют время срабатывания реле.

7.5.5. Повторить эксперимент на различных уставках реле от  $t_{уб.мин}$  до  $t_{уб.макс}$ .

Результаты опыта записать в табл.7.1.

Таблица 7.1

Уставка времени $t_{уст}$ , с					
Время срабатывания $t_{срб}$ , с					
Погрешность срабатывания $\Delta t_{срб}$ , с					
Относительная погрешность $\Delta$ , %					

По результатам измерений произвести расчет погрешности срабатывания реле по формуле

$$\Delta t_{\text{срб}} = t_{\text{уст}} - t_{\text{срб}}, \text{ с.}$$

Определить относительную погрешность по формуле

$$\Delta = \Delta t_{\text{срб}} / t_{\text{уст}} \cdot 100 \% .$$

Вычислить среднюю относительную погрешность по формуле

$$\Delta_{\text{ср}} = \sum \Delta t_{\text{срб}} / n ,$$

где  $n$  — количество измерений.

### 7.6. Содержание отчета

- 7.6.1. Цель работы.
- 7.6.2. Электрическая схема исследования реле времени.
- 7.6.3. Результаты эксперимента.
- 7.6.4. Выводы по результатам вычислений.

### 7.7. Контрольные вопросы

1. Что обеспечивает выдержку времени в пневматических реле?
2. Когда начинается отсчет времени электронного реле времени?
3. Какую выдержку времени обеспечивают реле времени сер. РЭВ81?
4. Как производится регулировка выдержки времени электронного реле сер. ВЛ?
5. Какие серии реле выпускаются электротехнической промышленностью?
6. Какого вида контакты имеют пневматические реле времени?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

### ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ

#### 8.1. Цель работы

Изучение устройства и исследование магнитного усилителя.

#### 8.2. Оборудование

8.2.1. Комплектный лабораторный стенд.

8.2.2. Модульная приставка с магнитным усилителем: номинальное переменное напряжение рабочей обмотки  $U_{\text{ном.р}}=220 \text{ В}$ ; номинальное постоянное напряжение обмотки управления  $U_{\text{у}}=220 \text{ В}$ .

#### 8.3. Теоретические сведения

Магнитный усилитель (МУ) представляет собой электромагнитное устройство с управляемой индуктивностью, служащее для усиления сигналов постоянного тока за счет энергии источника переменного тока.

Магнитные усилители получили широкое распространение в схемах автоматических устройств и имеют ряд достоинств: практически неограниченный срок службы, отсутствие подвижных частей, нечувствительность к вибрации, постоянную готовность к работе, высокие к.п.д. и коэффициент усиления, стабильные характеристики, а также возможность суммирования многих электрически не связанных сигналов управления.

Простейший магнитный усилитель (рис. 8.1) состоит из двух дросселей, имеющих по одной рабочей обмотке  $W_{\text{р}}$ , питаемой переменным током, и одну или несколько обмоток подмагничивания  $W_{\text{у}}$ , которые обычно охватывают оба магнитопровода. Магнитопровод может быть тороидальным, П- или Ш-образным. Две половины рабочей обмотки  $W_{\text{р}}$  соединяются между собой и на-

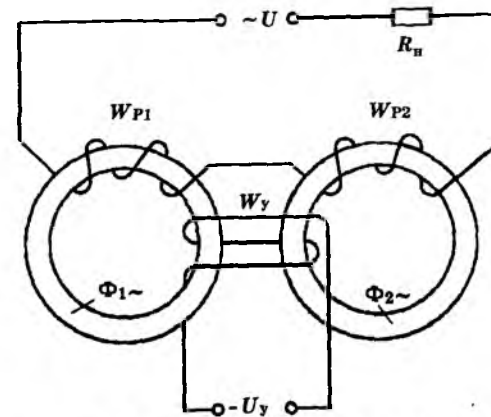


Рис. 8.1. Схема магнитного усилителя

грузкой  $R_{\text{н}}$  последовательно или параллельно, но обязательно таким образом, чтобы переменные магнитные потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  про-

низывали обмотки подмагничивания в противоположных направлениях и не индуцировали в них переменные ЭДС.

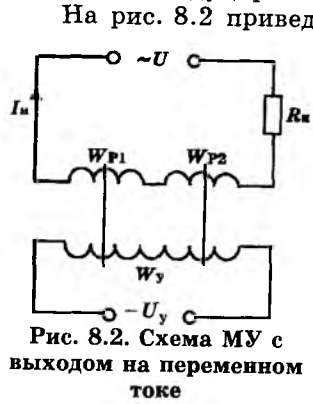


Рис. 8.2. Схема МУ с выходом на переменном токе

Если в схеме (см. рис. 8.2) пренебречь активным сопротивлением рабочих обмоток и сопротивлением нагрузки по сравнению с индуктивным сопротивлением рабочих обмоток, то при отсутствии постоянного подмагничивания и подведении синусоидального напряжения  $U$ , индукция  $B$  в сердечнике пропорциональна переменному напряжению и будет также изменяться по синусоидальной зависимости. В цепи нагрузки будет протекать переменный ток, пропорциональный напряженности переменного магнитного поля  $H$ . При этом сравнительно велики динамическая магнитная проницаемость  $\mu_d$ , пропорциональная ей индуктивность рабочей обмотки  $L$ .

Основной статической характеристикой магнитного усилителя является зависимость среднего значения тока нагрузки от тока управления  $I_n = f(I_{упр})$ .

Конструкция и описание принципа действия магнитных усилителей широко представлены в [5].

На рис. 8.2 приведена схема МУ с выходом на переменном токе при последовательном соединении рабочих обмоток и нагрузки, а на рис. 8.3 — МУ с параллельным соединением рабочих обмоток и выходом на постоянном токе (нагрузка включается через выпрямитель). Принцип действия МУ основан на явлении изменения динамической магнитной проницаемости  $\mu_d = dB/dH$  ферромагнитного сердечника для переменного магнитного поля при изменении постоянного подмагничивающего поля  $H$ .

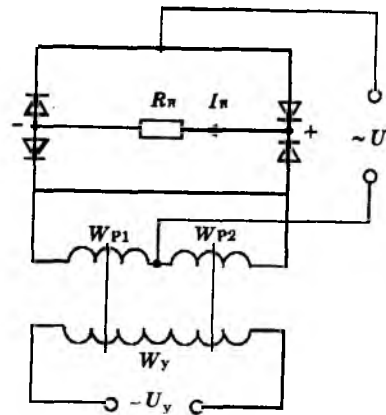


Рис. 8.3 Схема МУ с выходом

8.4. Схема стенда лабораторной установки (рис. 8.4)

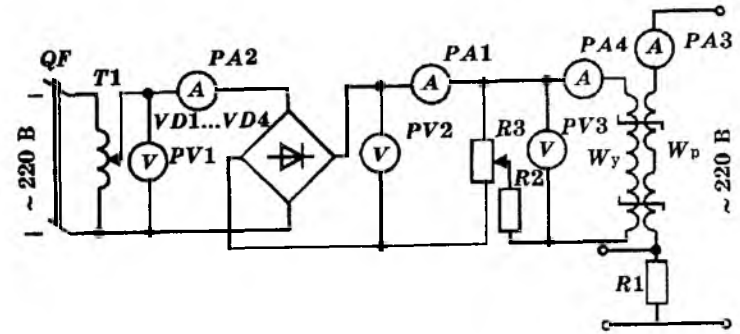


Рис. 8.4. Электрическая схема исследования магнитного усилителя

8.5. Порядок выполнения работы

8.5.1. Собрать электрическую цепь на стенде (рис. 8.5). После проверки ее преподавателем выполнить по порядку все операции, указанные в инструкции.

8.5.2. Подключить к стенду дополнительную приставку с магнитным усилителем.

8.5.3. Включить выключателем  $QF$  напряжение на стенд. Регулятором напряжения  $T1$  увеличивать напряжение, изменяя тем самым ток управления магнитного усилителя.

8.5.4. Снять показания приборов в нескольких точках и записать их в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Ток управления $I_y$ , А					
Напряжение управления $U_y$ , В					
Ток нагрузки $I_n$ , А					
Мощность выходная $P_{вых}$ , Вт					
Мощность управления $P_y$ , Вт					
Коэффициент усиления, $K$					

8.5.5. По результатам измерений произвести расчет по формулам выходной мощности:

$$P_{вых} = I_n^2 R_n, \text{ Вт.}$$

Мощность усиления

$$P_y = U_y I_y, \text{ Вт.}$$

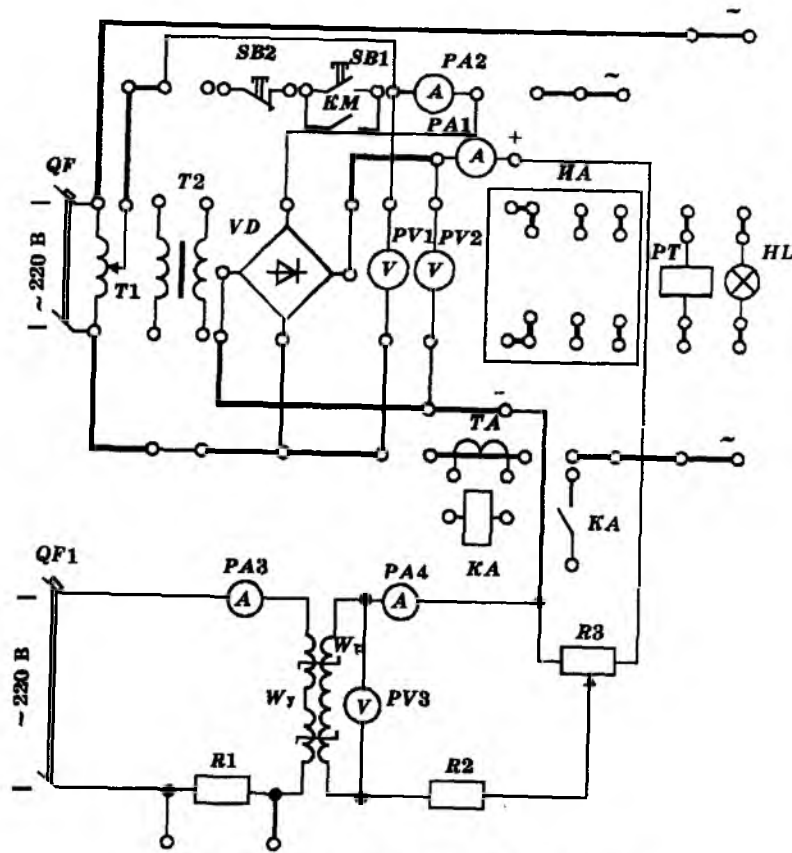


Рис. 8.5. Стенд лабораторной установки

Коэффициент усиления по мощности

$$K = (P_{\text{вых}} - P_0) / P_{\text{в}},$$

где  $P_0$  — мощность холостого хода при  $I_{\text{в}}=0$   $P_0 = I_{\text{в}}^2 R_{\text{н}}$ , Вт.  $I_{\text{в}}$  — ток управления на холостом ходу при  $U_{\text{в}}=0$ ;  $R_{\text{н}}$  — сопротивление нагрузки, Ом.

8.5.6. Построить характеристики управления  $I_{\text{н}}=f(I_{\text{в}})$  и  $K=f(I_{\text{в}})$ .

## 8.6. Содержание отчета

8.6.1. Цель работы.

8.6.2. Электрическая схема исследования магнитного усилителя.

8.6.3. Результаты эксперимента (табл. 8.1) и графики характеристик управления  $I_{\text{н}}=f(I_{\text{в}})$  и  $K=f(I_{\text{в}})$ .

8.6.4. Выводы по результатам эксперимента и вычислений.

## 8.7. Контрольные вопросы

1. Как устроен магнитный усилитель?
2. Каков принцип действия простейшего МУ?
3. Как соединяются между собой рабочие обмотки МУ?
4. Какие магнитопроводы применяются для конструкции МУ?
5. Какова основная характеристика магнитных усилителей?
6. Перечислите параметры магнитных усилителей.

## НЕИСПРАВНОСТИ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3

#### РЕМОНТ, РЕГУЛИРОВКА И НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

##### 3.1. Цель работы

Изучить приемы по разборке, сборке, настройке параметров электрических аппаратов, причины отказов аппаратов управления и защиты и способы их устранения.

##### 3.2. Теоретические сведения

В процессе эксплуатации электрические аппараты управления и защиты изнашиваются и устаревают. В связи с этим для обеспечения надежной работы и коммутационной способности, необходимо проводить их регулярное обслуживание и ремонт.

Коммутационная способность аппарата — это возможность произвести определенное число включений и отключений электрической цепи при сохранении его работоспособности. Коммутационную способность определяют контакты и контактные соединения, а также характер нагрузки коммутируемой цепи. В цепях с индуктивной и емкостной нагрузкой происходит накопление энергии на индуктивности и емкости и при разрыве цепи контактами аппарата происходит перенапряжение, что выражается в повышенном искрообразовании от электрической дуги. Поэтому в цепях с такой нагрузкой коммутационная способность контактов ниже. Повторно кратковременный режим работы электроприемников, управляемых электроконтактными аппаратами вызывает частое включение при пусковых токах, что приводит к износу контактов.

Контакты электрических аппаратов имеют следующие характеристики: раствор контакта (минимальное расстояние между контактными поверхностями подвижного и неподвижного контактов в разомкнутом положении); начальное нажатие контакта (нажатие пружин на контакт при разомкнутом положении контактов); конечное нажатие контакта (нажатие в момент окончания замыкания подвижного контакта с неподвижным); провал контакта (расстояние, на которое может сместиться точка конечного касания подвижного контакта с неподвижным из положения полного замыкания, при удалении жестко закрепленного контакта (подвижного или неподвижного)).

Раствор контактов в аппарате устанавливается таким, чтобы избежать затяжной электрической дуги при отключении. Для исключения повторного замыкания контактов после удара меха-

низма об упор при отключении раствор контакта должен быть не менее 2 мм.

#### Реле, контакторы, магнитные пускатели

Перед установкой электрических аппаратов необходимо проверить их комплектность, состояние рабочих поверхностей, работу деталей механизма, соответствие аппарата номинальному напряжению и току.

Удаление следов коррозии с поверхности главных и вспомогательных контактов производится салфеткой, смоченной в керосине, или опиливанием бархатным напильником. **Применять наждачную бумагу запрещается!**

Удаление пленок оксидов с контактных поверхностей производится осторожным опиливанием личным напильником с сохранением первоначальной геометрической формы контакта. **Металлокерамические покрытия контактов опиливать запрещается!**

Электромагнитные аппараты реле, контакторы, магнитные пускатели перед включением необходимо осмотреть и убедиться в легкости хода всех подвижных частей, замкнув магнитную систему несколько раз от руки. Все перекосы и заклинивания должны быть устранены. При работе аппарата контакты обгорают, загрязняются, на их поверхности появляются капли металла, поэтому их надо зачистить бархатным напильником. Если контактный мостик аппарата после отключения цепи катушки не возвращается в исходное положение, необходимо осмотреть направляющие, по которым осуществляется его скольжение. С поверхности следует удалить все образовавшиеся неровности и заусенцы. Необходимо регулярно проверять затяжку всех винтовых и гаечных соединений и очищать аппараты от пыли и грязи.

При ремонте контакторов и магнитных пускателей их надо разобрать, очистить от пыли и грязи. Изношенные и поврежденные детали заменить новыми.

Сердечник и якорь магнитной системы необходимо заменять одновременно, в противном случае следует производить шлифовку торцевых поверхностей. Взаимное положение контактов без необходимости менять не следует, так как приработавшиеся контакты изнашиваются меньше.

Для регулировки одновременности касания контактов разных полюсов между обоймой контакта и траверсой применяются регулировочные шайбы.

Прилегание якоря и сердечника должно быть достаточно плотным. Во избежание вибрации и дребезжания поверхности соприкосновения пришабривают. Плотность стыка между якорем и сердечником, между которыми проложены листы чистой и копировальной бумаги, проверяют, нажимая рукой на подвижную

часть электромагнитной системы. Прилегание считается удовлетворительным, если полученный отпечаток составляет не менее 70 % площади сечения.

При определении характера повреждения катушек необходимо обращать внимание на состояние их каркаса, обрывы и витковые замыкания в обмотках. Витковые замыкания характеризуются сильным нагревом катушки и снижением силы ее тяги.

### Аппараты защиты

Плавкие предохранители при длительной эксплуатации изменяют свои параметры, потому их необходимо периодически заменять новыми. Обслуживание предохранителей сводится к контролю за состоянием контактных соединений и замене перегоревших плавких вставок запасными откалиброванными вставками заводского изготовления. Использование некалиброванной медной или другой проволоки вместо заводской плавкой вставки не допускается по требованиям безопасности обслуживания электроустановок.

В тепловых и токовых реле проверяют соответствие паспортных данных номинальному току защищаемого электрооборудования и внешним осмотром контролируют:

надежность затяжки контактов присоединения токовых цепей;

исправное состояние (отсутствие обрыва) нагревательных элементов, состояние биметаллических пластин тепловых реле или катушек токовых реле;

четкость работы механизма контактной системы и самих контактов (отсутствие заеданий, задержек, наличие провала контактов). Затем приступают к проверке регулировки теплового реле. Проверяют пригодность теплового реле подачей тока на каждый нагревательный элемент, так как срабатывание любого теплового элемента реле вызывает переключение одних и тех же контактных пар.

Автоматические выключатели рассчитаны на длительную работу без зачистки контактов и смены каких-либо частей. Износившийся или вышедший из строя аппарат заменяют новым.

Периодически, не реже одного раза в год, а также после каждого автоматического отключения тока короткого замыкания, выключатель необходимо осматривать, снимая с него крышку. При осмотрах необходимо салфеткой, смоченной бензином, удалить образовавшуюся копоть с внутренних поверхностей выключателя и дугогасительных решеток, смазать шарниры механизма приборным маслом, проверить затяжку винтов.

После очистки и сборки выключателя необходимо во включенном положении проверить сопротивление изоляции между его зажимами. Сопротивление изоляции, измеренное мегаомметром

на напряжение 500 В, должно быть не менее 0,5 МОм.

Ремонт дугогасительных устройств электрических аппаратов заключается в замене поврежденных деталей, очистке пластин и щек дугогасительных решеток от нагара и частиц оплавленного металла. Нагар с пластин дугогасительной решетки удаляют деревянной лопаткой или мягкой стальной щеткой, а затем промывают их бензином. Сильно оплавленные пластины заменяют новыми, собирая их при помощи шаблона, имеющего вид гребенки.

Камеру с сильно поврежденными внешними и внутренними деталями целесообразно заменить новой.

### 3.3. Задание для выполнения практической работы

1. Описать причины отказов электрических аппаратов управления и защиты и способы их устранения в соответствии с заданием (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Вариант задания	Кнопки и кнопочные посты	Магнитные пускатели (МП)	Автоматические выключатели (АВ)
1	Толкатель кнопочно-го элемента не поддается воздействию	МП не включается	АВ не включается
2	Кнопка «Пуск» не включает электроприемник	МП не включается при наличии напряжения на клеммах катушки	АВ нельзя подготовить к включению
3	Кнопка «Пуск» не блокируется	Вибрация и искрение при работе	АВ не включается вручную
4	Кнопка «Стоп» не отключает электроприемник	МП включается, но электроприемник не работает	АВ отключается при номинальной нагрузке
5	Не производится самовозврат кнопок «Стоп» или «Пуск»	МП не отключается	АВ не отключает электроприемник при длительной перегрузке
6	Периодические отказы кнопок	Чрезмерный нагрев катушки МП	На выходе АВ нет одной или более фаз
7	Не производится самовозврат кнопочно-го элемента	На выходе МП нет одной или более фаз	АВ не отключается при КЗ



Продолжение табл. 3.1

8	При нажатии на кнопку «Стоп» происходит медленный самовозврат толкателя	Чрезмерный нагрев контакта	Сильный нагрев аппарата
9	Чрезмерный нагрев контактов	МП ненормально гудит	Сильный нагрев контактов
10	Самопроизвольное отключение	МП самопроизвольно отключается	Не фиксируется рукоятка АВ

**Пример.** Пускатель не отключается.

**Ответ.** 1. Кнопка «Пуск» заклинена во включенном положении. Почистить гнездо хода толкателя.

2. Контакты магнитного пускателя приварились. Зачистить контакты или заменить новыми.

3. Заклинивание якоря магнитной системы из-за механических неисправностей. Разобрать, почистить и продуть сжатым воздухом детали магнитного пускателя.

4. Ослаблена пружина, возвращающая якорь в исходное положение. Заменить пружину.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

Таблица 1

Технические характеристики магнитных пускателей сер. ПМЛ и тепловых реле сер. РТЛ

Пускатели		Тепловые реле	
тип	$I_{ном}, А$	тип	диапазон регулирования $I_{уст}$
ПМЛ-1000	10	РТЛ-1007	1,5...2,6
		РТЛ-1008	2,4...4,0
		РТЛ-1010	3,8...6,0
		РТЛ-1012	5,5...8,0
		РТЛ-1014	7,0...10
ПМЛ-2000	25	РТЛ-1016	9,5...14
		РТЛ-1021	13...19
		РТЛ-1022	18...25
ПМЛ-3000	40	РТЛ-2053	23...32
ПМЛ-4000	63	РТЛ-2055	30...41
		РТЛ-2057	38...52
ПМЛ-5000	80	РТЛ-2059	47...64
		РТЛ-2061	54...74
ПМЛ-6000	125	РТЛ-2063	63...80
		РТЛ-3105	75...105
ПМЛ-7000	200	РТЛ-3125	90...125
		РТЛ-3160	115...160
		РТЛ-3200	145...200

Таблица 2

Технические характеристики максимально-токовых реле сер. РТ-40

Тип реле	Пределы уставок	Последовательное соединение катушек		
		Ток срабатывания, А	Термическая стойкость, А	
			длительно	в течение 1с
РТ40/0,2	0,05...0,2	0,05...0,1	0,55	15
РТ40/0,6	0,15...0,6	0,15...0,3	1,75	50
РТ40/2,0	0,5...2,0	0,5...1,0	4,15	100
РТ40/6,0	1,5...6,0	1,5...3,0	11,0	300
РТ40/10	2,5...10	2,5...5,0	17,0	400
РТ40/20	5,0...25	5,0...10	19,0	400
РТ40/50	12,5...50	12,5...25	27,0	500
РТ40/100	25...100	25...50	27,0	500

Таблица 3

**Технические характеристики плавких предохранителей  
сер. НПН, ПН2, ПР2**

Тип предохра- нителя	Номинальный ток, А		Максимальный отключаемый ток при $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В, А}$
	предохра- нителя	плавких вставок	
НПН2-63	15 63	6; 10; 15 20; 25; 31; 45; 63	10 000
НПН2-100	100	30; 40; 50; 60; 80; 100	50 000
НПН2-250	250	80; 100; 120; 150; 200; 250	40 000
НПН2-400	400	200; 250; 300; 350; 400	25 000
НПН2-600	600	300; 400; 500; 600	25 000
НПН2-1000	1000	500; 600; 750; 800; 1000	10 000
ПР2-15	15	6; 10; 15	8 000
ПР2-60	60	15; 20; 25; 35; 45; 60	4 500
ПР2-100	100	60; 80; 100	11 000
ПР2-200	200	100; 125; 160; 200	11 000
ПР2-350	350	200; 225; 260; 300; 350	13 000
ПР2-600	600	350; 430; 500; 600	23 000
ПР2-1000	1000	600; 700; 850; 1000	23 000

Таблица 4

**Технические характеристики автоматических выключателей  
сер. АЕ2000, АЕ1000, АК50, АК63**

Тип вы- ключа- теля	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	Количе- ство по- люсов	Род рас- цепителя	Ток рас- цепителя $I_{\text{ном}}, \text{А}$	Кратность тока отсеч- ки $I_{\text{отс}}$
АЕ2010	25	3	Комбини- рованный Тепловой	0,32...1,6	$12I_{\text{ном}}$
АЕ2030	25	3	Комбини- рованный То же Тепловой То же	8...10	—
				0,6...1,6	
				2,0...12,5	
				2,0...4,0	
АЕ2030	25	3	Комбини- рованный	5,0...12,5	—
				16...25	
				16...25	

Продолжение табл. 4

АЕ2040	25	3	То же —//—	10...12,5 16...25	$12...18I_{\text{ном}}$
АЕ2050	63	3	—//—	16...25 32...63	
АЕ2050	100	3	—//—	50...100	
АЕ1000	10	1	Электро- магнитный	0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 6; 10	
АК50	25	1	То же	6; 10; 16; 25	$1,35I_{\text{ном}}$
	50	2; 3	—//—	0,6...50	
АК63	63	1; 2; 3	—//—	0,63...63	$5I_{\text{ном}}$
					$7I_{\text{ном}}$
					$10I_{\text{ном}}$
					$13I_{\text{ном}}$
					$3I_{\text{ном}}$
					$14I_{\text{ном}}$

Таблица 5

**Технические характеристики автоматических выключателей  
сер. АП50, АЗ700**

Тип вы- ключателя	Ток $I_{\text{ном}}, \text{А}$	Количе- ство по- люсов	Род рас- цепителя	Ток рас- цепителя $I_{\text{ном. расц}}, \text{А}$	Кратность тока от- сечки $I_{\text{отс}}$
АП50-3МТ АП50-2МТ	50	3 2	Комбини- рованный Электро- магнит- ный Тепловой	1,6; 2,4; 4; 6,4; 10; 12,5; 16; 25; 40; 50	$11I_{\text{ном}}$
АП50-3М АП50-2М	50	3 2		1,6...50	
АП50-3Т АП50-2Т	50	3 2	Без рас- цепителя Электро- магнит- ный	1,6...50	—
АП50-3 АП50-2	50	3 2		1,6...50	
АЗ713Б	160	2 3		31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	—

Продолжение табл. 5

A3714B					$2 \dots 10 I_{\text{ном}}$
A3723B A3724B	250	2 3	То же	160; 200; 250	
A3733B A3734B	400	2 3	-//-	160; 200; 250; 315; 400	
A3743B A3744B	630	2 3	-//-	250; 315; 400; 630	

Таблица 6

Технические характеристики автоматических выключателей сер. ВА51 и ВА52 с комбинированным расцепителем

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Краткость тока отсечки $I_{\text{отс}}$
	выключателя	расцепителя, $I_{\text{ном. расц}}$	
Однополюсные			
ВА51-29	63	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 63	3; 7; 10
ВА51-31-1	100	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	
Трехполюсные			
ВА51Г-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	14
ВА51-25	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	7; 10
ВА51-31	100	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА51Г-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	14
ВА52-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА51-33 ВА52-33	160	80; 100; 125; 160	10
ВА51Г-33 ВА52Г-33	160	80; 100; 125; 160	14
ВА51-35	250	80; 100; 125; 160;	12
ВА52-35 ВА51-37	400	250 250; 320; 400	10
ВА52-37 ВА51-39	630	400; 500; 630	10
ВА52-39	630	250; 400; 500; 630	10

Таблица 7

Технические характеристики выключателей сер. ВА53, ВА 55, ВА 75 с полупроводниковыми максимальными расцепителями

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя $I_{\text{ном}}$ , А	Уставка тока расцепителя в зоне КЗ, кратная $I_{\text{ном. расц}}$
ВА 53-37 ВА 53-37	160; 250; 400	2; 3; 5; 7; 10
ВА 55-39 ВА 53-39	160; 250; 400; 630	—
ВА 53-41	1000	2; 3; 5; 7
ВА 55-41	1600	—
ВА 53-43	2500	2; 3; 5
ВА 55-43	—	—
ВА 75-45	2500	2; 3; 5; 7
ВА 75-47	4000	2; 3; 5

Таблица 8

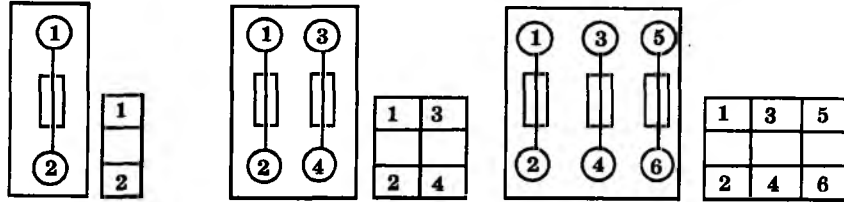
Технические характеристики электродвигателей сер. 4А

Тип электродвигателя	$P_{\text{ном}}$ , кВт	$n_{\text{ном}}$ , об/мин	$I_{\text{ном}}$ , А	К
4А50А2У3	0,09	2740	0,32	4,0
<del>4А50В2У3</del>	0,12	2710	0,32	4,0
4А56А2У3	0,18	2800	0,54	4,0
4А56А2У3	0,25	2770	0,74	4,0
4А63А2У3	0,37	2750	0,93	4,5
4А63В2У3	0,55	2740	1,33	4,5
4А71А2У3	0,75	2840	1,7	5,5
4А71В2У3	1,1	2810	2,5	5,5
4А80А2У3	1,5	2850	3,3	6,5
<del>4А80В2У3</del>	2,2	2850	4,7	6,5
4А90Л2У3	3,0	2840	6,1	6,5
4А100S2У3	4,0	2880	7,8	7,5
4А100L2У3	5,5	2880	10,5	7,5
4А112M2У3	7,5	2900	14,9	7,5
4А132M2У3	11,0	2900	21,2	7,5
4А160S2У3	15,0	2940	28,5	7,0
4А160M2У3	18,5	2840	34,5	7,0
4А180S2У3	22,0	2945	41,6	7,5
4А180M2У3	30,0	2945	56,0	7,5
<del>4А200M2У3</del>	37,0	2945	70,0	7,5
4А200L2У3	45,0	2945	83,8	7,5
4А225M2У3	55,0	2945	100,0	7,5
4А250S2У3	75,0	2960	140,0	7,5
4А250M2У3	90,0	2960	165,0	7,5

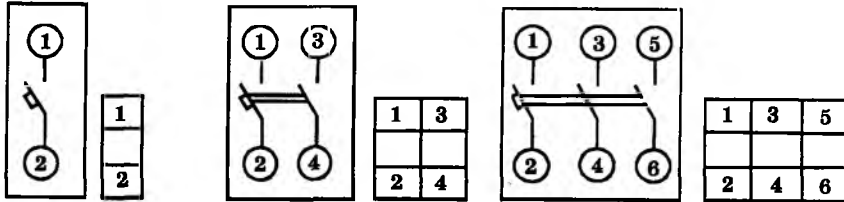
Приложение 2

Электрические схемы и монтажные символы электрических аппаратов

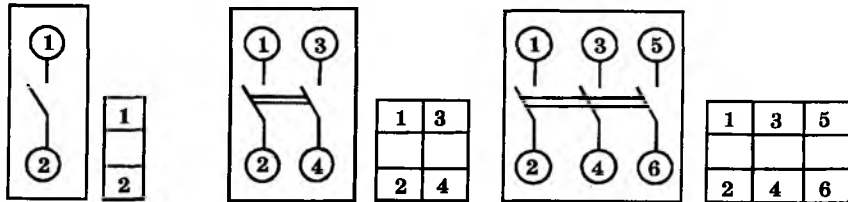
Предохранители



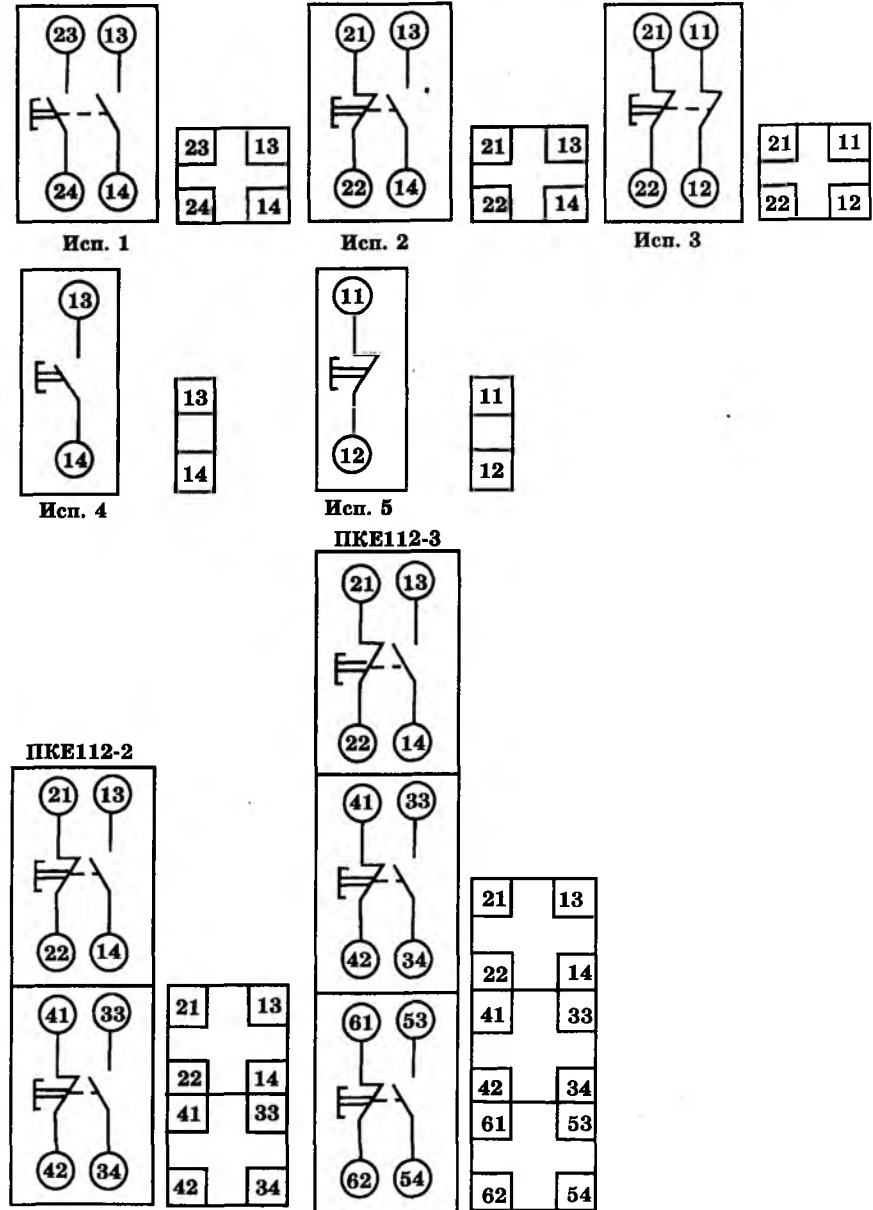
Автоматические выключатели



Рубильники

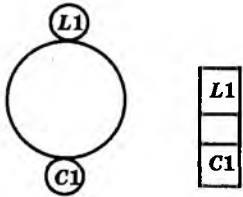


Кнопки управления  
КЕ011; 021; 031; 041; 081



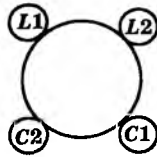
Пакетные выключатели и переключатели

ПВ 1-10



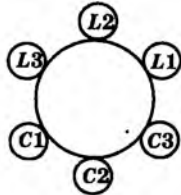
L1
C1

ПВ 2-10



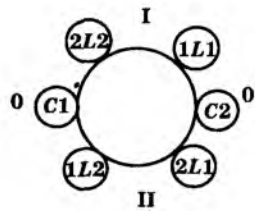
L1	L2
C2	C1

ПВ 3-10



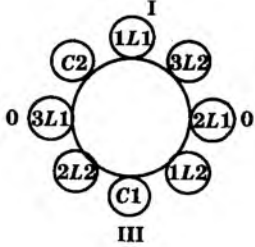
	L2	
L3		L1
C1		C3
	C2	

ПН 2-10/Н2



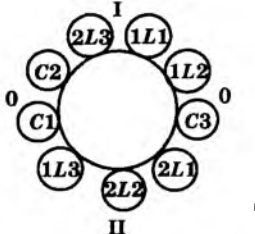
2L2	1L1
C1	C2
1L2	2L1

ПН 2-10/Н3



	1L1	
C2		3L2
3L1		2L1
2L2		1L2
	C1	

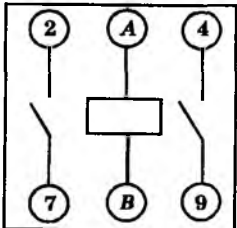
ПН 2-10/Н2



	2L3	1L1	
C2			1L2
C1			C3
			2L1
	1L3	2L2	

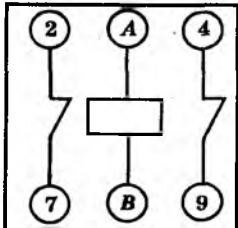
Электромагнитные реле

РПУ-2-35200Х3



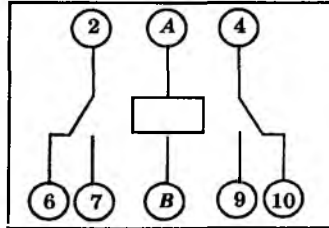
2	A	4
7	B	9

РПУ-2-35020Х3



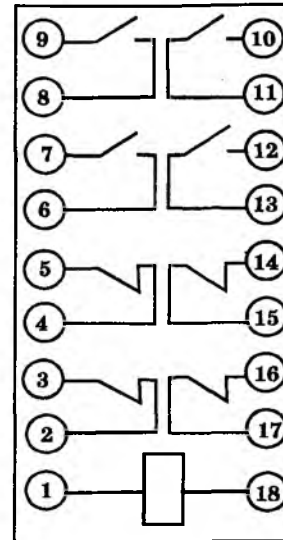
2	A	4
7	B	9

РПУ-2-35002Х3



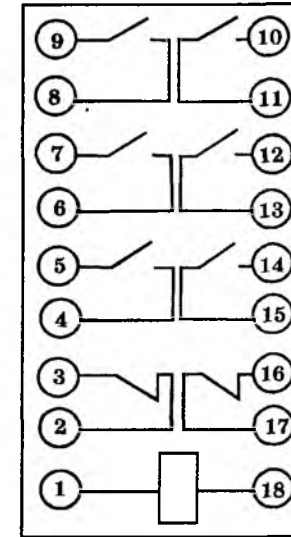
	2	A	4	
6	7	B	9	10

ПЭ 21-5



9	10
8	11
7	12
6	13
5	14
4	15
3	16
2	17
1	18

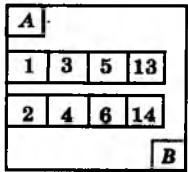
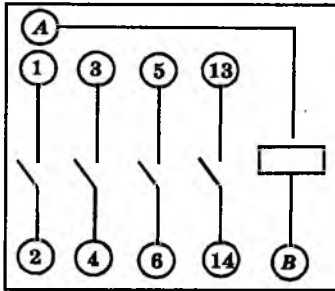
ПЭ 21-7



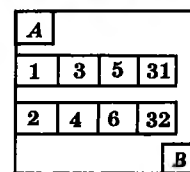
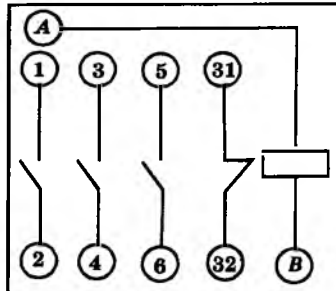
9	10
8	11
7	12
6	13
5	14
4	15
3	16
2	17
1	18

Пускатели электромагнитные

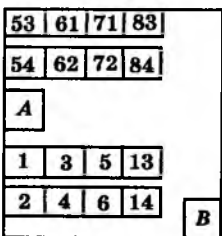
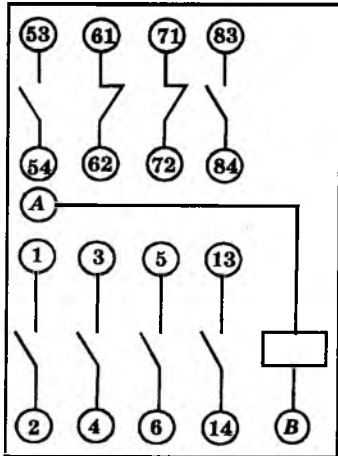
ПМЛ-1100, ПМЛ-2100



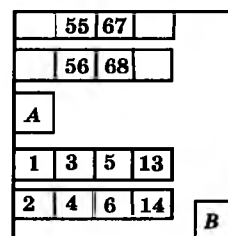
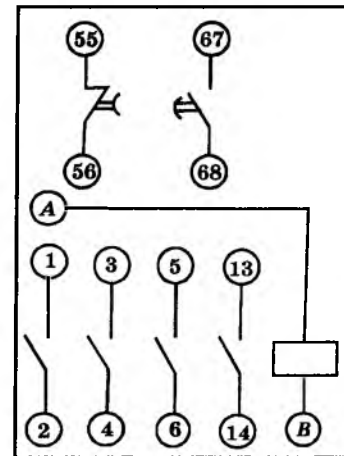
ПМЛ-1101, ПМЛ-2101



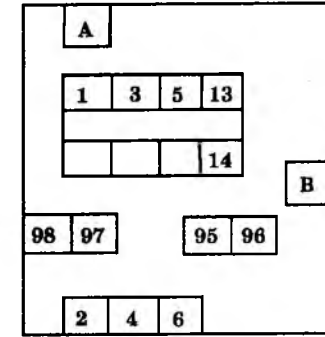
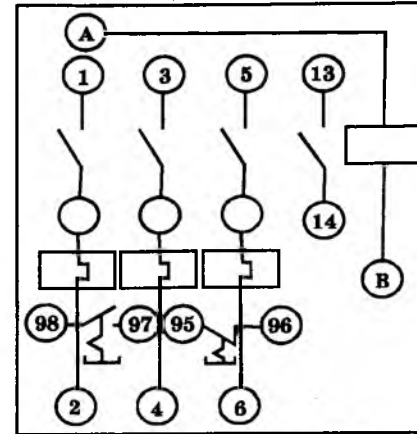
ПМЛ-1100, ПМЛ-2100 с ПКЛ-22



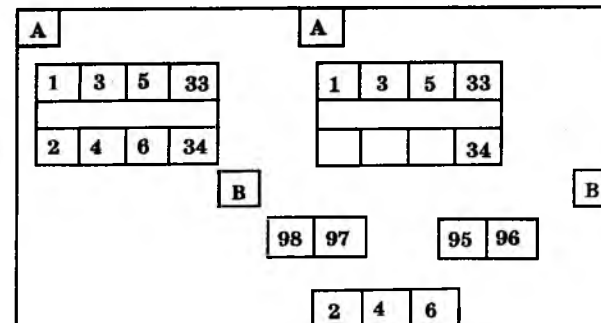
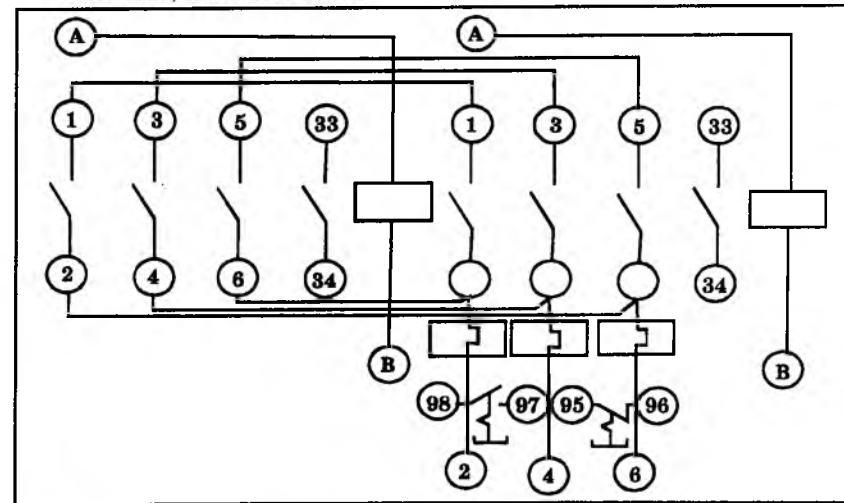
ПМЛ-1100, ПМЛ-2100 с ПВЛ-11



ПМЛ-1100, ПМЛ-2100 с РТЛ

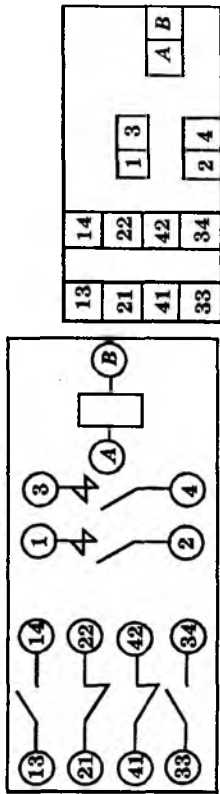


ПМЛ-1501, ПМЛ-2501 с РТЛ

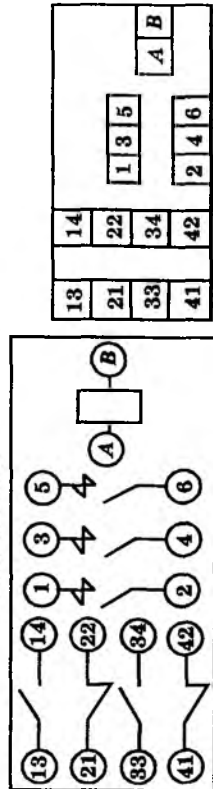


Контакты

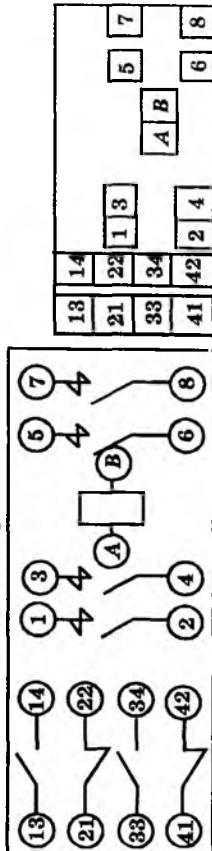
КТ 5000 23Г, вк 2з 2р



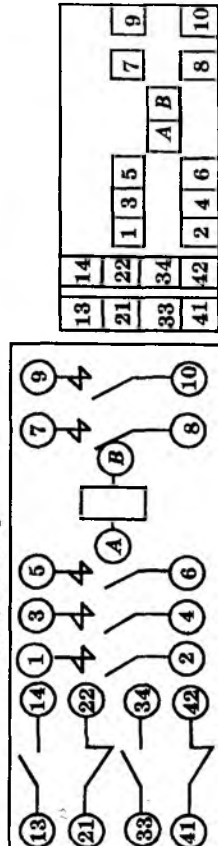
33Г, вк 2з 2р



43Г, вк 2з 2р

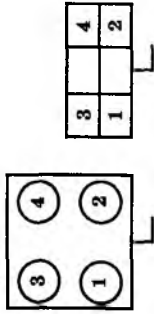


53Г, вк 2з 2р

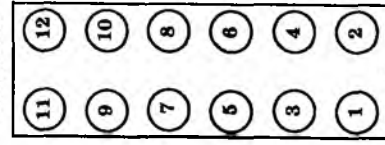


Переключатели универсальные

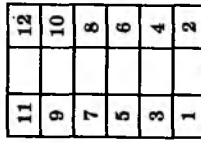
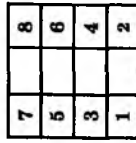
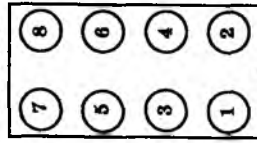
УП5311



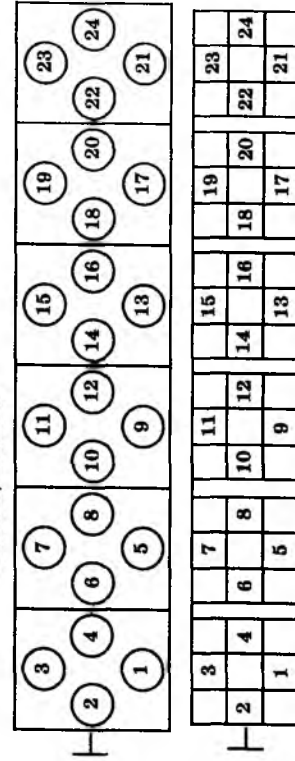
УП5313



УП5312



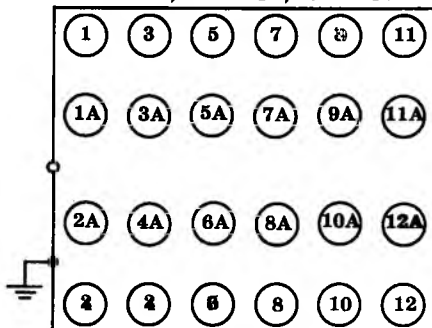
ПМОВ, ПМОФ



Приложение 3

Командоконтроллеры

КП1201, КП1203, КП1204



1	3	5	7	9	11
1A	3A	5A	7A	9A	11A
2A	4A	6A	8A	10A	12A
2	4	6	8	10	12

Диаграммы замыкания контактов универсальных переключателей сер. УП5300

№23

Номер секции	Номер контакта		Положение рукоятки					
			-45°		0°		+45°	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
I	1	2					X	X
II	3	4	X	X				

№33

Номер секции	Номер контакта		Положение рукоятки					
			-45°		0°		+45°	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
I	1	2			X	X		
II	3	4	X					X

№29

Номер секции	Номер контакта		Положение рукоятки					
			-45°		0°		+45°	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
I	1	2					X	X
II	3	4					X	X
III	5	6	X	X				
IV	7	8	X	X				

№45

Номер секции	Номер контакта		Положение рукоятки					
			-45°		0°		+45°	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
I	1	2					X	X
II	3	4	X	X				
III	5	6			X	X		
IV	7	8			X	X		

№31

Номер секции	Номер контакта		Положение рукоятки					
			-45°		0°		+45°	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
I	1	2			X	X	X	X
II	3	4					X	X
III	5	6					X	X
IV	7	8					X	X

№79

Номер секции	Номер контакта		Положение рукоятки					
			-45°		0°		+45°	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
I	1	2	X	X			X	X
II	3	4	X	X			X	X
III	5	6	X	X			X	X
IV	7	8	X	X			X	X

№73

Номер секции	Номер контакта		Положение рукоятки									
			-90°		-45°		0°		+45°		+90°	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П		
I	1	2	X	X							X	X
II	3	4					X	X				

№124

Номер секции	Номер контакта		Положение рукоятки									
			-90°		-45°		0°		+45°		+90°	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П		
I	1	2					X	X				
II	3	4					X	X				
III	5	6	X	X							X	X
IV	7	8	X	X							X	X



**Приложение 4**

Тип, схематическое изображение и форма подвижных контактов переключателей сер. МК и ПМО

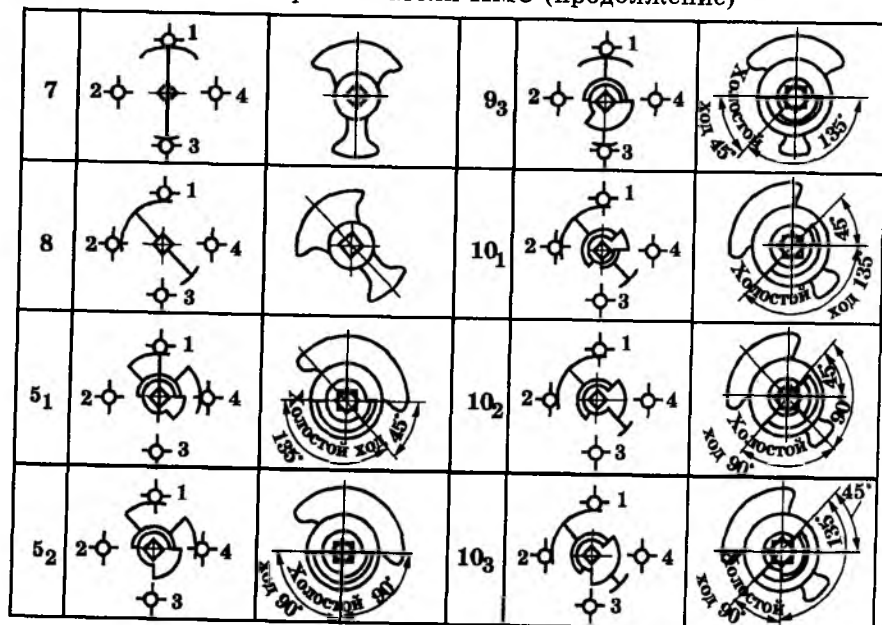
**Переключатели МК**

	1	2	3	4	5	6а
315-0-45°						
270-0-90°						
180-0-180						
135-0-225°						
90-0-270°						
45-0-135°						

**Переключатели ПМО**

1			3 <sub>3</sub>		
2			6 <sub>1</sub>		
3			6 <sub>2</sub>		
4			6 <sub>3</sub>		
5			9 <sub>1</sub>		
6			9 <sub>2</sub>		

## Переключатели ПМО (продолжение)



## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. — М.: Главгосэнергонадзор, 1998.
2. Александров К. К., Кузьмина Е. Г. Электротехнические чертежи и схемы. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Буль Б. К., Буль Б. О. Электромеханические аппараты автоматики. — М.: Высшая школа, 1988.
4. Москаленко В. В. Электрический привод. — М.: Высшая школа, 1991.
5. Чунихин А. А. Электрические аппараты. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Таев И. С. Электрические аппараты управления. — М.: Высшая школа, 1984.
7. Пижурин А. А. Электрооборудование и электроснабжение лесопромышленных и деревообрабатывающих предприятий. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Лесн. пром-сть, 1987.
8. Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1990.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>МЕРЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ</b> .....	5
<b>ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ</b> .....	7
<b>ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ</b> .....	9
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1. Изучение конструкции электрических аппаратов ручного управления .....	9
<b>ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ</b> .....	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. Исследование работы контакторов переменного и постоянного тока.....	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. Исследование электромагнитного реле и магнитного пускателя.....	21
<b>ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ</b> .....	26
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. Исследование плавких предохранителей.....	26
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2. Расчет параметров и условия выбора плавких предохранителей, тепловых реле, автоматических выключателей .....	30
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. Исследование тепловых реле ...	34
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. Исследование токового реле ....	37
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. Исследование автоматических выключателей .....	42
<b>БЕСКОНТАКТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДАТЧИКИ</b> ...	46
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7. Исследование реле времени ....	46
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8. Исследование магнитного усилителя .....	49
<b>НЕИСПРАВНОСТИ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ</b> ...	54
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3. Ремонт, регулировка и настройка параметров электрических аппаратов управления и защиты.....	54
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1</b> .....	59
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2</b> .....	64
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3</b> .....	72
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 4</b> .....	74
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	77

Учебное издание

*Елкин Валерий Дмитриевич*

### **Электрические аппараты. Практические и лабораторные работы**

Общегосударственный классификатор  
Республики Беларусь ОКРБ 007-98 ч.1, 22.11.20.100

Ответственный за выпуск: *Л. С. Овчинников*  
Гл. редактор: *Н. В. Овчинникова*

Подписано в печать с оригинал-макета 28.01.2003. Формат 60×90 1/16.  
Бум. офсетная. № 1 марки А. Печать офсетная. Гарнитура SchoolBook. Усл. печ. л. 5.  
Уч. изд. л. 4,6. Тираж 1000 экз. Зак. 413.

Лицензия ЛВ № 93 от 02.12.1997 г.,  
продолжение от 02.12.2002 г.

Издательство «Дизайн ПРО», 220040, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Некрасова, 5, офис 510.

Отпечатано в РУП «Типография «Победа» с готовых диапозитивов заказчика,  
лицензия ЛП № 5 от 13.11.2000 г., 222310, Республика Беларусь, г. Молодечно, ул. Тавлая, 11.

ISBN 985-452-075-7



9 789854 520759

Учебное издание

Электрические аппараты в 2 книгах

*Елкин Валерий Дмитриевич*  
*Елкина Татьяна Васильевна*

**Электрические аппараты**

*Елкин Валерий Дмитриевич*

**Электрические аппараты. Практические и лабораторные работы**

Общегосударственный классификатор  
Республики Беларусь ОКРБ 007-98 ч.1, 22.11.20.100

Ответственный за выпуск: *Л. С. Овчинников*  
Гл. редактор: *Н. В. Овчинникова*

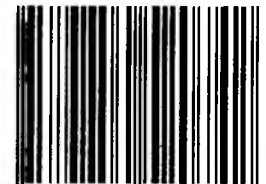
Подписано в печать с оригинал-макета 20.02.2003, Формат 60×90 1/16.  
Бум. офсетная. № 1 марки А. Печать офсетная. Гарнитура SchoolBook. Усл. печ. л. 15,5.  
Уч. изд. л. 14,8. Тираж 1000 экз. Зак. 413.

Лицензия ЛВ № 93 от 02.12.1997 г.,  
продолжение от 02.12.2002 г.

Издательство «Дизайн ПРО», 220040, Республика Беларусь,  
г.Минск, ул.Некрасова, 5, офис 510.

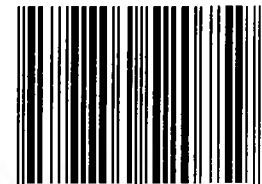
Отпечатано в РУП «Типография «Победа» с готовых диапозитивов заказчика,  
лицензия ЛП № 5 от 18.11.2000 г., 222310, Республика Беларусь, г.Молодечно, ул.Тавлая, 11.

ISBN 985-452-074-9



9 789854 520742

ISBN 985-452-075-7



9 789854 520759