

29-30 Аппараты защиты. Общие сведения. Плавкие предохранители. Тепловые реле

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, используют плавкие вставки из разного материала, специальной формы, а также металлургический эффект. Наиболее распространенными материалами для плавких вставок являются медь, цинк, алюминий, свинец и серебро.



Рис. 4.1. Защитная характеристика предохранителей

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 °С, поэтому при токе, близком минимальному току плавления, температура всех элементов предохранителя значительно возрастает.

Цинк и свинец имеют низкую температуру плавления (419 и 327 °С), что обеспечивает

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 отличается высоким удельным сопротивлением, поэтому плавкие вставки бывают большого 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 °С). В месте контакта олова с медной проволокой начинается растворение меди, и сечение медной вставки уменьшается. Процесс длится до

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 °С.

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...5 раз). Такое явление называется токоограничивающим действием, это улучшает условия дугогашения в предохранителях.

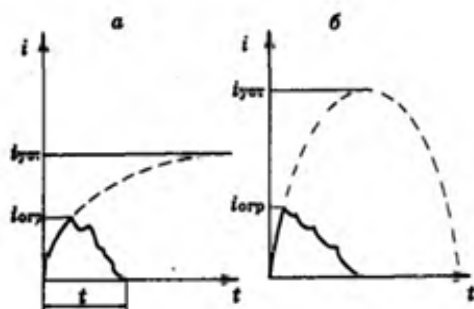


Рис. 4.2. Токоограничивающий эффект плавких предохранителей:

- 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 выходу их из строя.

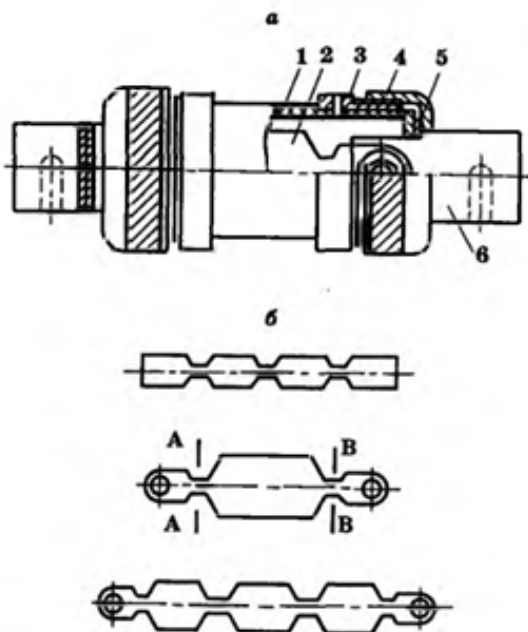


Рис. 4.3. Предохранители серии ПР2:
а — патрон; б — формы плавких вставок

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 % CO_2 , 40 % H_2 , 10 % паров H_2O), 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.

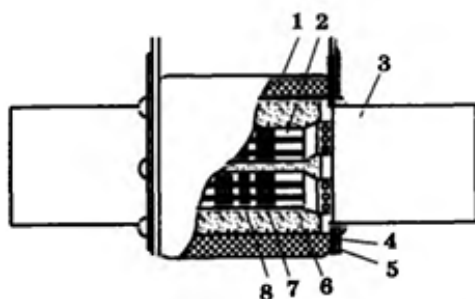


Рис. 4.4. Предохранители серии ПН2

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 SiO_2). Вместо кварца можно использовать мел (CaCO_3), который иногда смешивают с асбестовым волокном. При возникновении дуги мел разлагается с выделением углекислого газа CO_2 и CaO — тугоплавкого материала. Реакция происходит с поглощением энергии, что способствует гашению дуги. Предельный отключаемый ток предохранителей серии ПН2 достигает 50 кА.

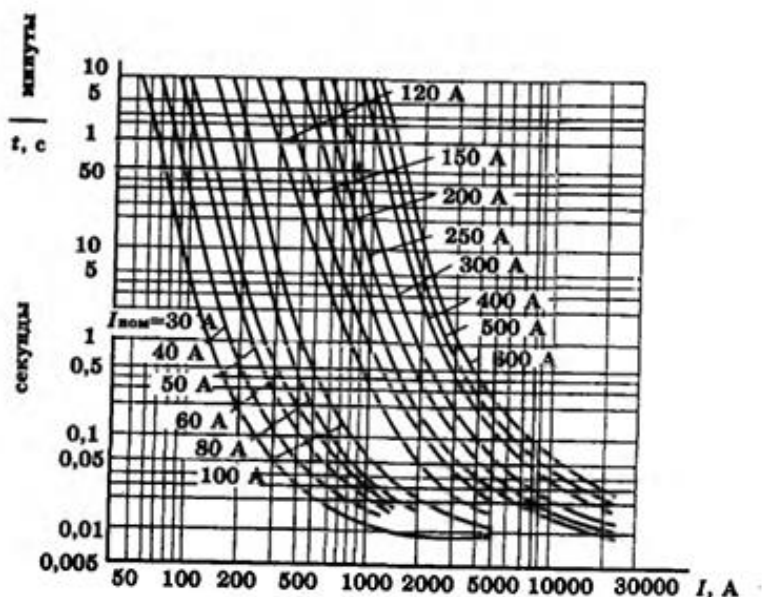


Рис. 4.5. Защитная характеристика насыпных предохранителей

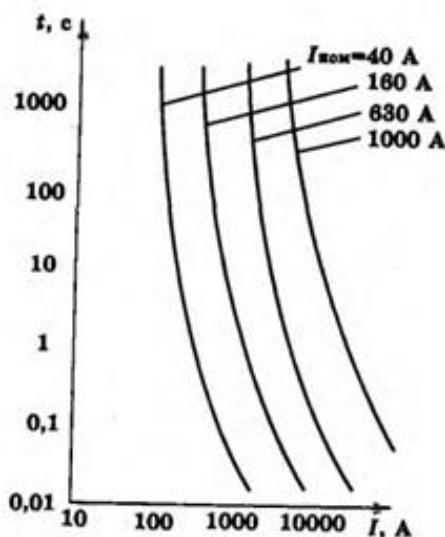


Рис. 4.6. Защитная характеристика предохранителя серии ПП-31

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.

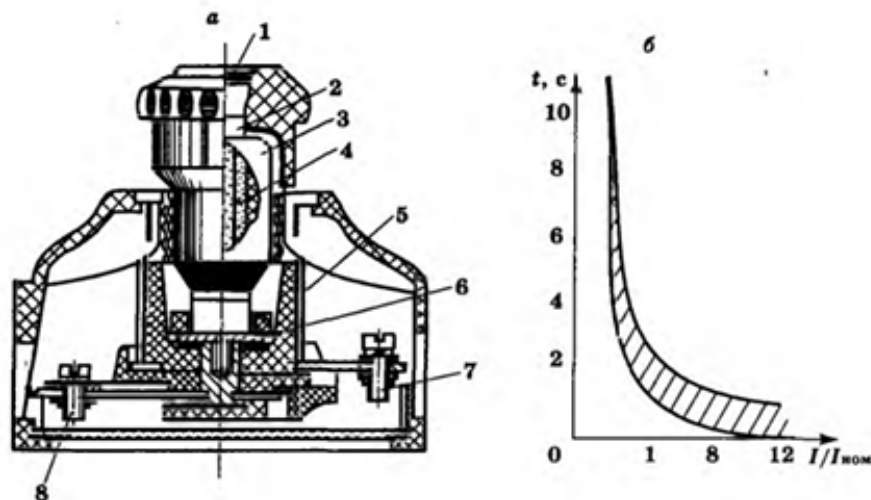


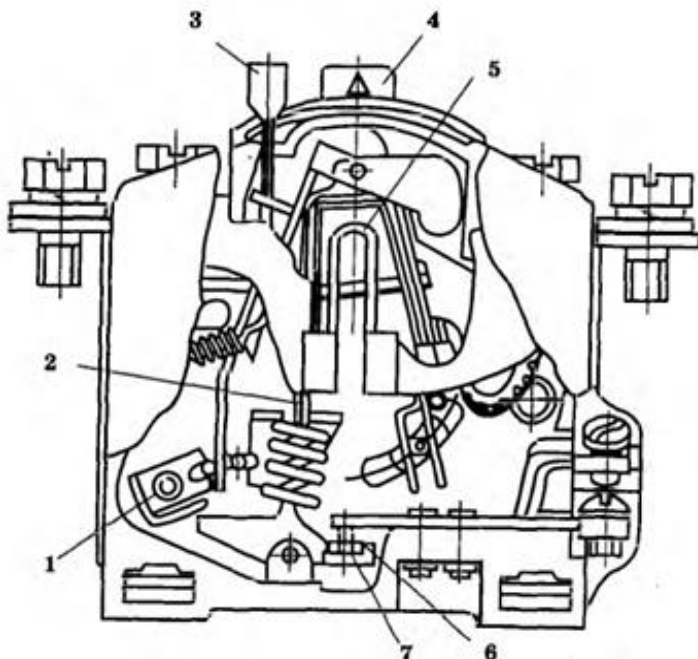
Рис. 4.7. Предохранители серии ПРС:

- 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 (α) 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 α , и хромоникелевая сталь, которая отличается высоким значением α .

Если биметаллический элемент неподвижно закрепить с одной стороны и нагреть, пластина изогнется в сторону материала с меньшим коэффициентом линейного расширения α . 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, замыкающие 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.

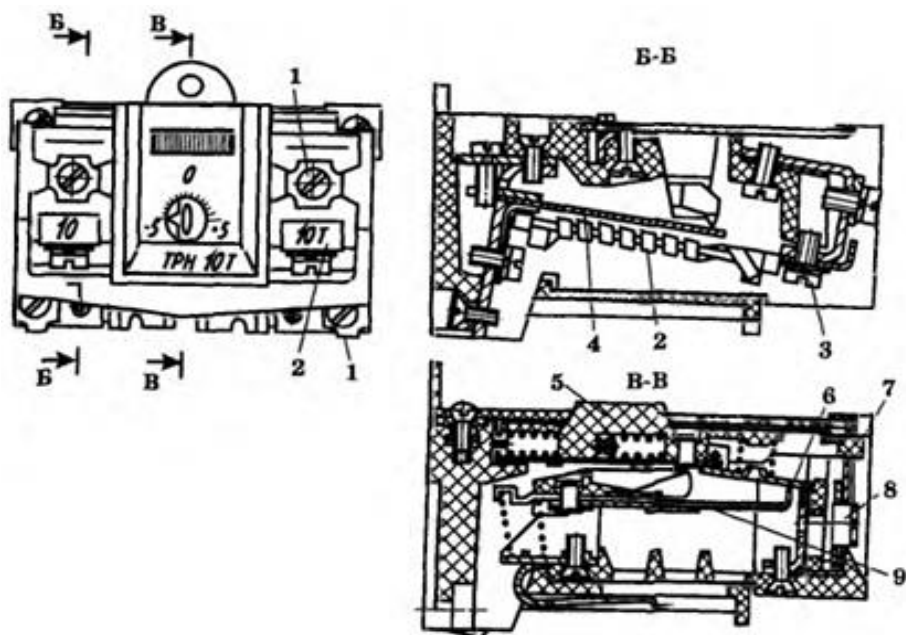


Рис. 4.9. Электротепловое реле серии ТРН

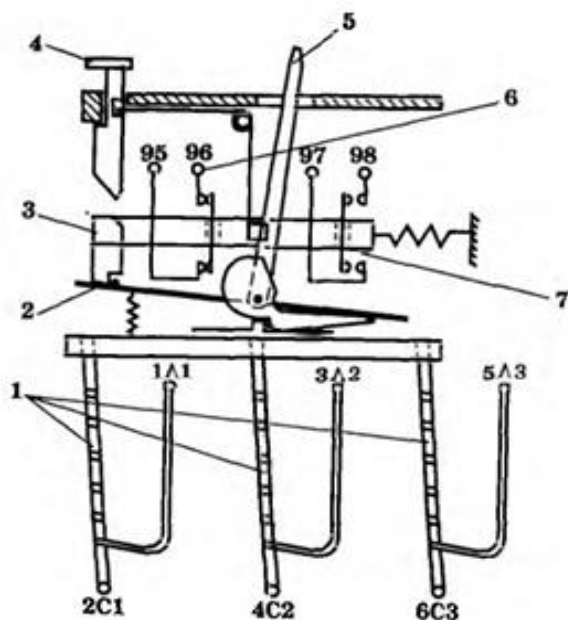


Рис. 4.10. Схема электротеплового реле серии РТЛ

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.

Современные тепловые реле РТИ 1307

Внешний вид



1 - защитная крышка регулятора тока срабатывания; 2 - регулятор тока срабатывания; 3 - тестовая кнопка; 4 - переключатель режима повторного включения; 5 - стоповая кнопка; 6 - пломбировочный элемент; 7 - индикатор срабатывания; 8 - этикетка; 9 - втычной вывод главной цепи; 10 - клеммный вывод главной цепи; 11 - клеммный вывод вспомогательной цепи.