

М. П. ЛАТЫШЕВ, С. Д. БАРАНОВ



**ВИДЫ ЗАЩИТ
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК
УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**



КЕМЕРОВО 2002

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное электрооборудование, эксплуатируемое на промышленных предприятиях, имеет большое количество защит различного назначения, защиты принимаются в зависимости от вида электрооборудования, технологического процесса, режимов работы электроустановок и других особенностей.

Существующие учебники по электроснабжению и электрооборудованию дают описание отдельных видов защит и не дают других, или содержат описание защит в большом объеме, что необходимо специалистам узкой специализации.

Данное учебное пособие является первой попыткой представить материал по видам защит в электроустановках в компактном виде, описать возможно большее количество защит, т.к. в стандарте на обучение инженеров по специальности 180400 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» при изучении курса «Электрооборудование промышленных установок» значительная часть курса отводится на изучение видов защит в электроустановках, а материал разбросан по различным учебникам, справочникам и монографиям.

Данное учебное пособие может быть полезно студентам других специальностей электроэнергетического профиля при изучении видов защит в электроустановках и некоторых аварийных и аномальных режимах в них.

1. АВАРИЙНЫЕ И НЕНОРМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ И ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ

Основным назначением релейной защиты является автоматическое отключение поврежденного участка сети от системы электроснабжения при возникновении на этом участке аварийных или ненормальных режимов или повреждений.

К аварийным режимам, вызывающим значительные и опасные повреждения, относятся короткие замыкания, загорание масла в трансформаторах, механические повреждения вращающихся генераторов и т. д. Эти повреждения отключаются защитами за кратчайшее время.

К ненормальным режимам относятся небольшие, но длительные токовые перегрузки, замыкание фазы на землю в сетях с изолированной нейтралью, медленное газообразование в масляных трансформаторах, небольшое повышение или понижение напряжения и т. д. Эти повреждения могут отключаться через более длительное время, или защита должна сработать на подачу сигнала обслуживающему персоналу.

В последние годы широкое применение получили полупроводниковые преобразователи электрической энергии. Одной из особенностей полупроводниковых устройств является низкая перегрузочная способность по току, что выдвинуло проблему создания защит и коммутационных аппаратов, обладающих высокой степенью быстродействия, поскольку классические аппараты защиты - электромагнитные автоматические выключатели и плавкие предохранители - не удовлетворяют требованию защиты полупроводниковых приборов от термического разрушения.

В связи с этим наряду с совершенствованием традиционных аппаратов защиты появилась большая группа специализированных устройств защиты, имеющих те или иные преимущества перед электромагнитными автоматическими выключателями и плавкими предохранителями. Это полупроводниковые (тиристорные) выключатели, вакуумные выключатели с принудительной коммутацией, импульсные дуговые коммутаторы, взрывные коммутаторы, самовосстанавливающиеся предохранители и др.

В связи с прогрессом в области вычислительной техники наметилась тенденция к широкому их внедрению в технику релейных защит.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ЗАЩИТ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ОТ АВАРИЙНЫХ И НЕНОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ

В коммутационные аппараты могут встраиваться несколько видов защит, осуществляемых различными способами. Виды защит и способы их выполнения показаны на рис. 2.1.

Максимальная токовая защита

Максимальная токовая защита является одной из важных защит, применяемых в электроустановках с целью предотвращения термического и электродинамического воздействий тока на электрооборудование при воздействии коротких замыканий (КЗ) в электрических сетях и длительных токовых перегрузках. Защита может осуществляться плавкими предохранителями, электромагнитными реле и др. устройствами.

Максимальная защита делится на два вида: защиту от коротких замыканий и защиту от токовых перегрузок. Защита от КЗ должна обладать высоким быстродействием. Время срабатывания не должно превышать 0,1-0,2 с. Время срабатывания защит от перегрузки может иметь большое значение. Наличие элементов избирательности позволяет отключать только поврежденные участки сети.

Защита от понижения напряжения

Защита от понижения напряжения делится на два вида:

- нулевая – для защиты обслуживающего персонала от электрических и механических травм при исчезновении напряжения и последующим его появлением и предотвращает самовключение коммутационных аппаратов;

- минимальная – отключает электроустановки при снижении напряжения до $(0,6-0,7)U_n$ с целью предохранения электродвигателей от перегрузки и др. электроустановки от ненормального режима работы.

Нулевая защита осуществляется цепями дистанционного управления или реле нулевой защиты. Минимальная – реле минимальной защиты.

Защита от обрыва фаз

Защита от обрыва фаз предназначена для защиты электроустановок

Классификация видов защит, применяемых для защиты электроустановок от аварийных и ненормальных режимов

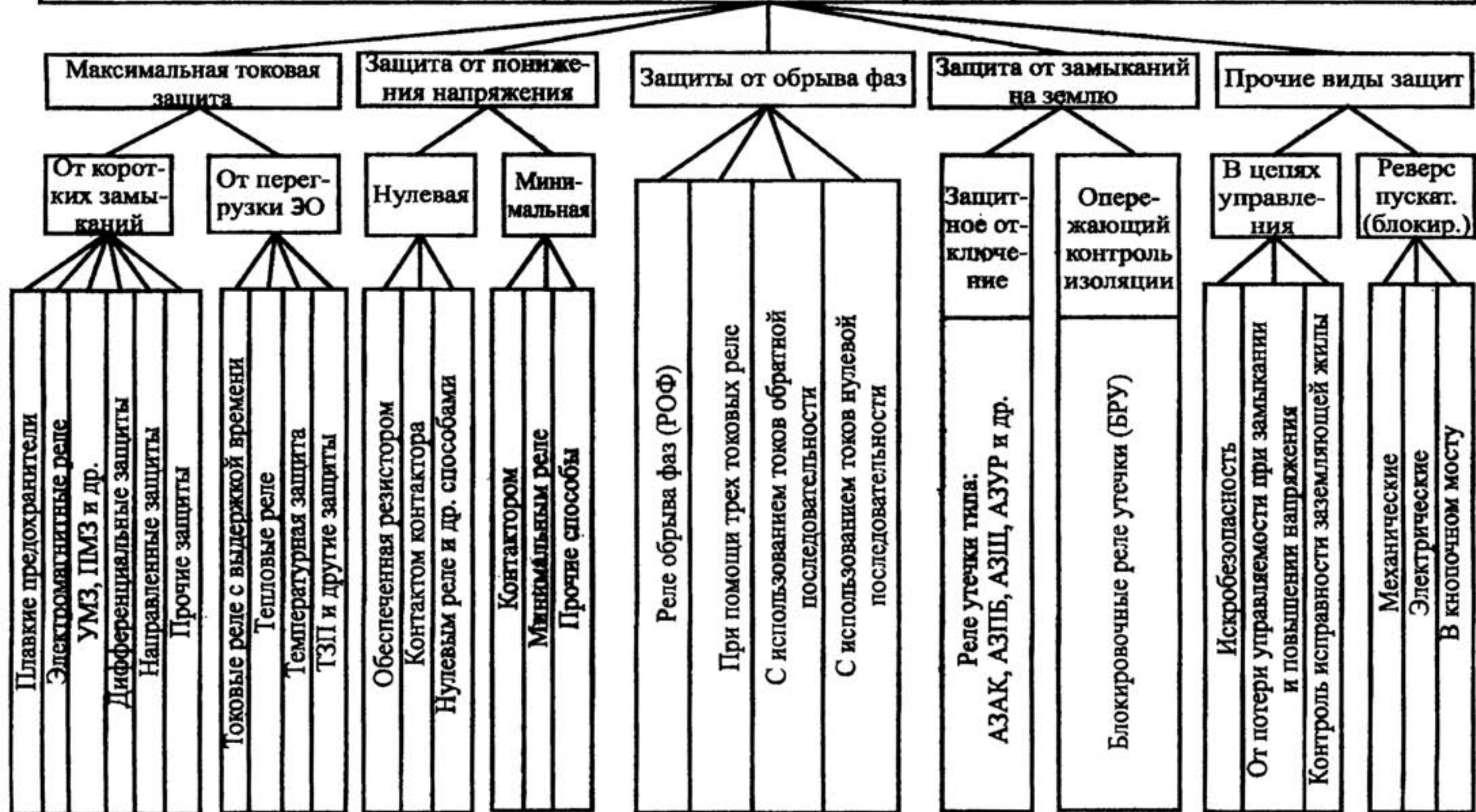


Рис.2.1. Виды защит, применяемые для защиты электроустановок

от неполнофазного режима при обрыве проводов и др. неисправностях. Защита от обрыва фаз может осуществляться несколькими способами: при помощи реле обрыва фаз (РОФ), с использованием трех токовых реле, с использованием фильтров симметричных составляющих.

Защита от замыканий на землю

Защита от замыканий на землю имеет важное значение с точки зрения электробезопасности в сетях с изолированной нейтралью и с точки зрения взрывобезопасности во взрывоопасных производствах.

Этой защиты два вида. Защитное отключение, которое защищает людей от поражения электрическим током при прикосновении к одной из фаз (непрерывный контроль изоляции), и опережающий контроль изоляции, облегчающий поиск места повреждения изоляции и блокирующий коммутационный аппарат. Контроль не позволяет подать напряжение в сеть с поврежденной изоляцией, обеспечивая тем самым электробезопасность и взрывобезопасность.

Защиты в цепях управления

В цепях управления могут быть: нулевая защита, средства, обеспечивающие искробезопасность, защита от потери управляемости при замыкании в цепях управления и повышении напряжения в силовых цепях, контроль исправности заземляющей жилы. Реверсивные пускатели могут иметь три вида блокировок, препятствующих одновременному включению двух контакторов с целью предотвращения коротких замыканий в силовой цепи.

3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К РЕЛЕЙНЫМ ЗАЩИТАМ

Релейные защиты должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. РЗ должны обладать селективностью (избирательностью). Селективность — это свойство защиты отключать только поврежденные участки сети или элементы схемы электроснабжения и оставлять в ра-

боте неповрежденные.

Для защиты, действующей на сигнал, под селективностью понимается способность защиты однозначно указывать место возникновения ненормального режима и элемент энергосистемы, требующий вмешательства персонала.

2. РЗ должны обладать необходимым быстродействием.

Быстродействие – это возможность защит отключать короткие замыкания за минимальное время. Быстродействие защит ограничивает размеры разрушений ЭО, сохраняет устойчивость работы энергосистемы и уменьшает продолжительность снижения напряжения у потребителей.

Время отключения состоит из времени срабатывания релейной защиты t_3 и времени действия выключателя с приводом $t_в$

$$t_0 = t_3 + t_в.$$

Для быстродействующих защит: $t_3 = 0,02 \div 0,04$ с.

Для быстродействующих воздушных выключателей:

$$t_в = 0,05 \div 0,08 \text{ с.}$$

Для масляных выключателей: $t_в = 0,1 \div 0,2$ с.

В зависимости от времени отключения различают защиты:

- а) мгновенного действия $t_c \leq 0,05$ с.
- б) быстродействующую $0,05 < t_0 < 0,5$ с.
- в) замедленную $t_0 > 0,5$ с.

3. РЗ должны обладать надежностью срабатывания.

Под надежностью понимается свойство защиты правильно и безотказно реагировать на соответствующие повреждения и не производить ложных срабатываний.

4. РЗ должна обладать необходимой чувствительностью.

Чувствительность – это способность защит срабатывать от небольших изменений контролируемого параметра. Защита от токов короткого замыкания должна реагировать на минимальные значения токов КЗ в конце защищаемой зоны.

Чувствительность защит оценивается коэффициентом чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.з}}^{(2)}}{I_{\text{сз}}},$$

где $I_{\text{к.з}}^{(2)}$ - минимальный ток двухфазного КЗ в конце защищаемого участка; $I_{\text{сз}}$ - ток срабатывания защиты.

5. РЗ должны иметь определенную зону действия.

Под зоной действия понимаются участки сетей, при повреждении которых защита должна срабатывать.

Различают:

а) основную зону действия, для которой данная защита является основной;

б) резервную зону действия, для которой данная защита является резервной;

в) зону нечувствительности (мертвую зону), в которой коэффициент чувствительности защиты меньше заданного, т. е.

$$K_{\text{ч}} < 1,5 \div 2,0.$$

4. ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ РЕЛЕ

Реле характеризуют следующие параметры:

1. $I_{\text{н}}$, $U_{\text{н}}$, $S_{\text{н}}$ - номинальный ток, номинальное напряжение, номинальная мощность реле.

2. $I_{\text{с.з}}$ - ток срабатывания защиты. Это минимальный ток в фазах линии, при котором защита срабатывает. Ток срабатывания защиты является первичным током.

3. $I_{\text{с.р}}$ - ток срабатывания реле. Это минимальный ток в реле, при котором оно срабатывает. Ток срабатывания реле является вторичным током.

4. $I_{\text{в.р}}$ - ток возврата реле. Это максимальный ток в реле, при котором оно возвращается в исходное состояние.

5. $K_{\text{в}}$ - коэффициент возврата реле. Это отношение тока возврата реле к току срабатывания:

$$K_{\theta} = \frac{I_{\theta.p}}{I_{c.p}}; \quad K_{\theta} = 0,8 \div 0,95.$$

6. K_{cx} – коэффициент схемы. Это отношение тока реле к вторичному току ТТ:

$$K_{cx} = \frac{I_p}{I_{2TT}}; \quad K_{cx} = 1 \text{ или } \sqrt{3}.$$

7. $t_{c.p}$ – время срабатывания реле. Это зависимость между временем действия реле и величиной фактора, на который оно реагирует.

Время срабатывания реле или время срабатывания защиты определяется по характеристикам реле. Характеристики реле могут быть: зависимые, ограниченно-зависимые, независимые и ограниченно-зависимые с отсечкой.

5. ВРЕМЯ - ТОКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЛЕ

Различают реле, имеющие следующие характеристики:

5.1. Зависимая характеристика реле защиты

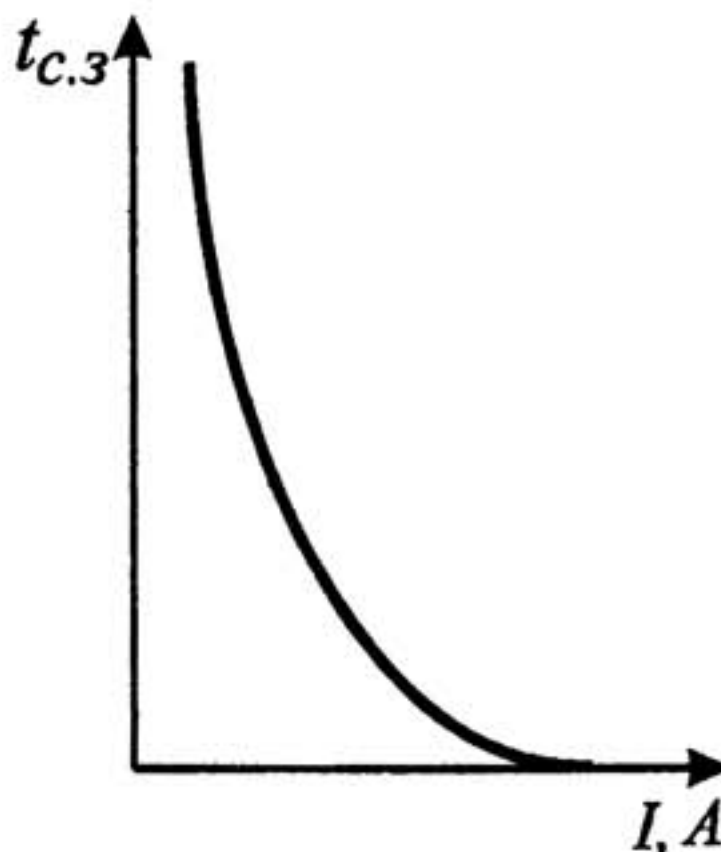


Рис.5.1. Зависимая характеристика

Для данной характеристики существенным является то, что время

срабатывания защиты ($t_{с.з}$) уменьшается до нуля при изменении воздействующего на реле фактора, например I , А (рис. 5.1).

5.2. Ограниченно-зависимая характеристика

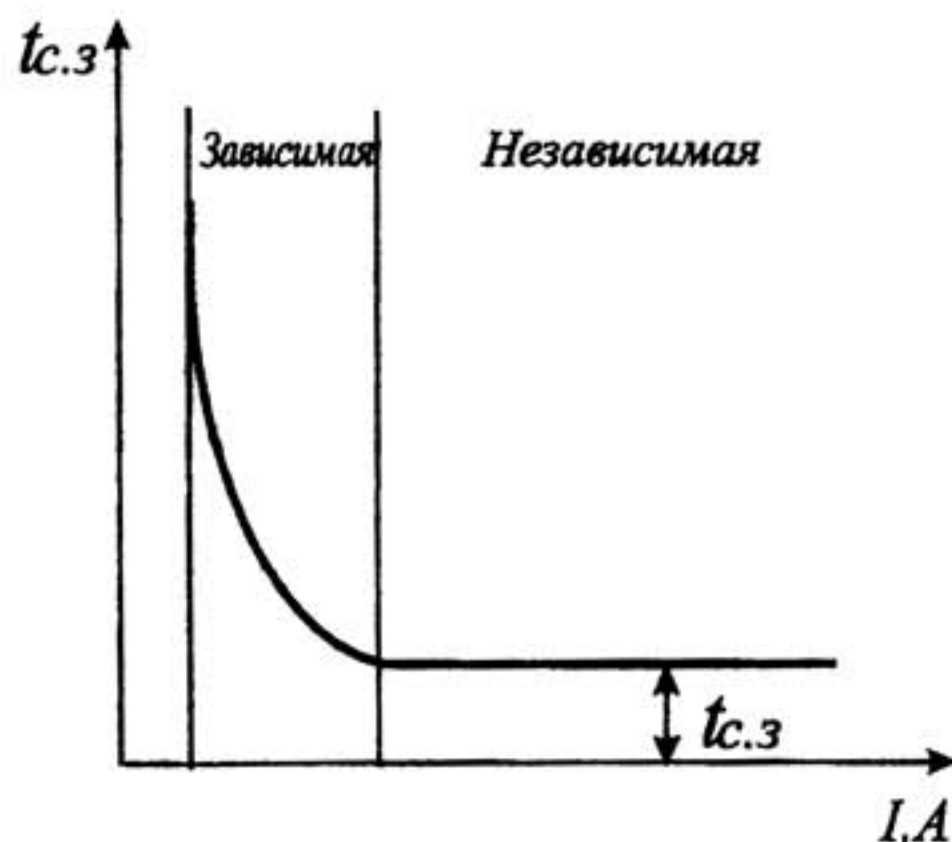


Рис.5.2. Ограниченно-зависимая характеристика

Это когда время срабатывания защиты в определенных пределах изменения величины фактора, воздействующего на реле, зависит от него, а при величинах выше этих пределов — не зависит (рис.5.2).

5.3. Независимая характеристика

Характеристика не зависит от величины фактора, воздействующего на реле. Время срабатывания реле зависит только от конструктивных особенностей реле, не регулируется и не зависит от воздействующего на реле фактора. Собственное время срабатывания реле приблизительно равно 0,02 с (рис.5.3).

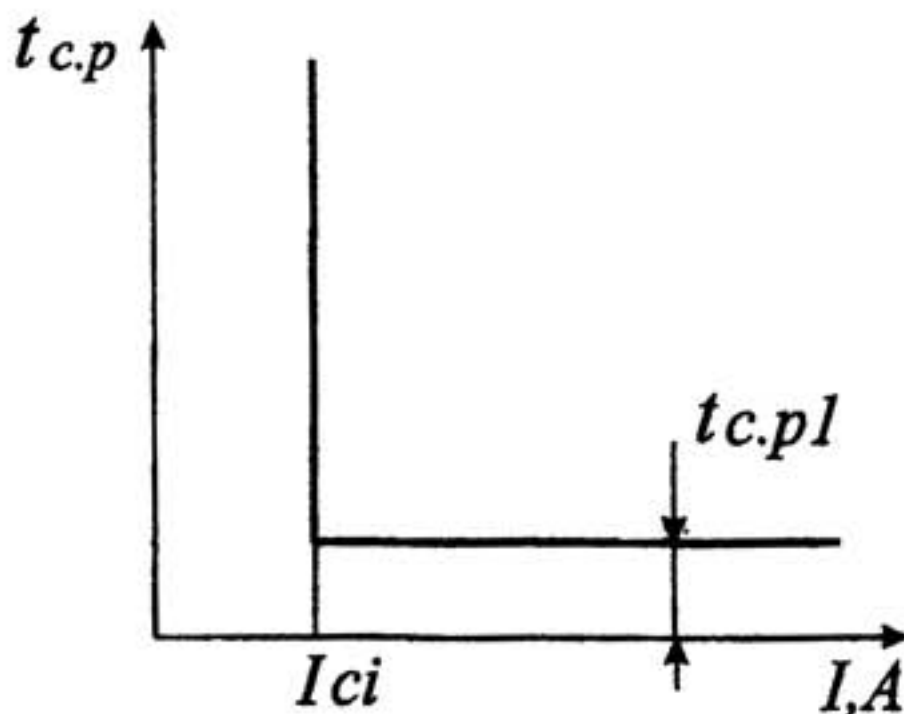
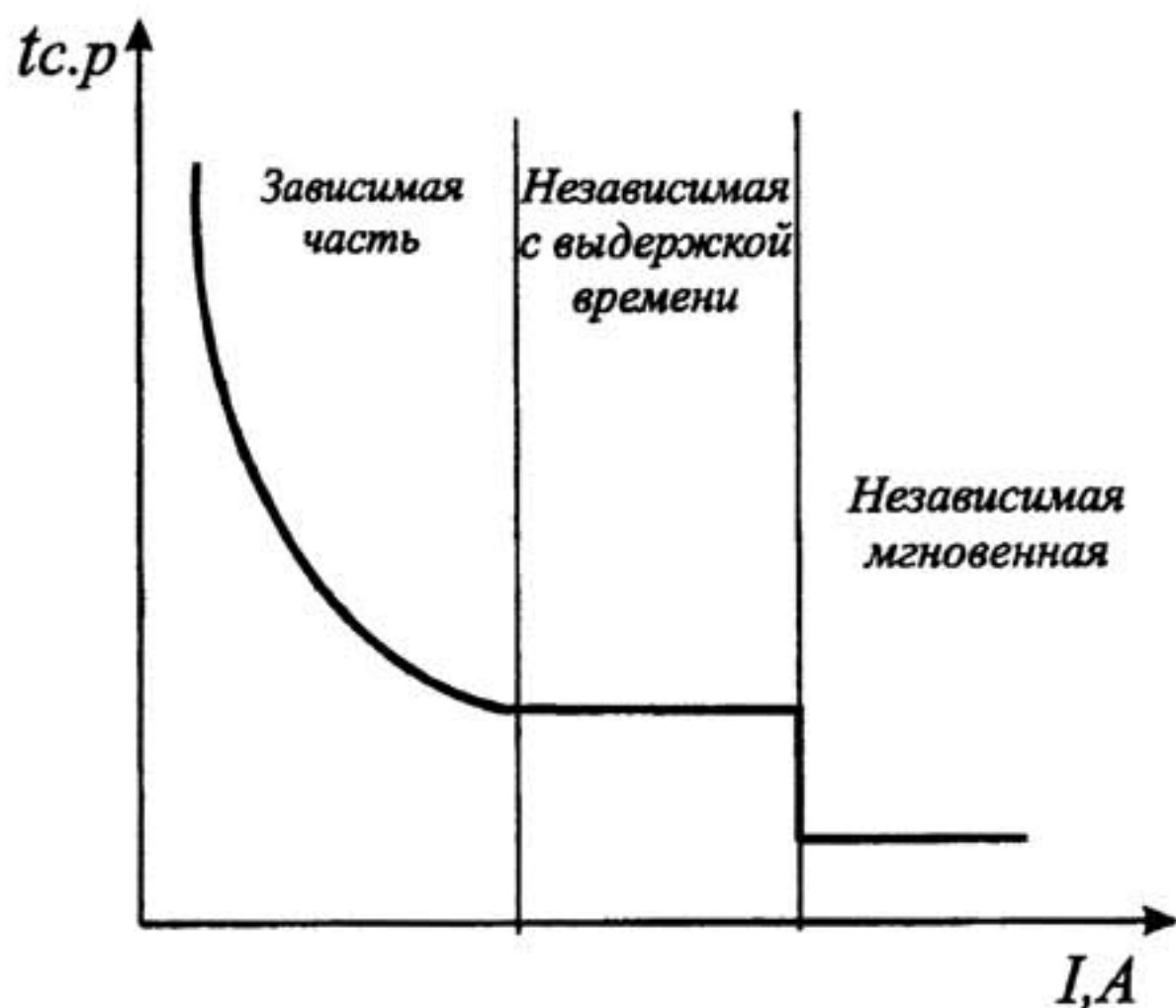


Рис.5.3. Независимая характеристика

5.4. Ограниченно-зависимая характеристика с отсечкой



При нарастании величины воздействующего на реле фактора до некоторого значения, защита работает по ограниченно-зависимой характеристике, а при достижении этого или любого большего значения реле срабатывает мгновенно (с отсечкой) (рис.5.4).

Рис.5.4. Ограниченно-зависимая характеристика с отсечкой

6. МАКСИМАЛЬНО-ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ

Предназначены для защиты элементов электрических схем от токов короткого замыкания и от электрических перегрузок.

Одним из наиболее опасных режимов является режим короткого замыкания (КЗ). В большинстве случаев КЗ возникают из-за пробоя или перекрытия изоляции. Токи КЗ достигают величин, в десятки и сотни раз превышающих значения токов нормального режима. Тепловое и электродинамическое действие токов КЗ может полностью вывести установку из строя. Токи КЗ также часто являются причиной возникновения пожаров.

Для защиты от токов КЗ применяются плавкие предохранители и электромагнитные максимально-токовые реле.

Рассмотрим конструкцию, принцип действия и выбор этих устройств.

6.1. Плавкие предохранители

Плавкие предохранители-самые простые и дешевые устройства, предназначенные для защиты электрооборудования от токов КЗ, получившие широкое распространение.

Защита электрооборудования от перегрузок с помощью предохранителей возможна только в тех случаях, когда отсутствуют броски тока, значительно превышающие токи номинального режима.

Устройство плавких предохранителей может быть самым различным. В принципе любой предохранитель состоит из трех основных элементов: плавкого элемента, который разрывает электрическую цепь при возникновении КЗ; дугогасительных устройств, предназначенных для гашения дуги, возникающей в момент перегорания плавкой вставки; элементов крепления предохранителя и плавкой вставки.

6.1.1. Плавкие предохранители типа ПР-2

На рис.6.1 представлен предохранитель разборный типа ПР-2, наиболее часто применяемый во взрывобезопасной коммутационно-защитной аппаратуре (с фибровым патроном без заполнителя).

Плавкая вставка изготавливается из цинка путем штамповки. Цинк – легкоплавкий материал, стойкий против коррозии (температура плавления цинка 693°K).

Вставка имеет переменное сечение для уменьшения времени срабатывания. В зависимости от номинального напряжения плавкая вставка имеет от одного до четырех сужений.

Предохранители выпускают с двумя размерами вдоль оси – короткие и длинные.

Короткие предназначены для работы при напряжении до 380 В, длинные – до 660 В. В зависимости от величины номинального тока меняется диаметр патронов.

Принцип работы предохранителей следующий:

При протекании по предохранителю тока нормального режима тепло, выделяемое на узких участках плавкой вставки, рассеивается элементами предохранителя в окружающую среду.

При коротком замыкании ток, протекающий через предохранитель, резко увеличивается. На узких участках плавкой вставки выделяется большое количество тепла, которое не успевает рассеиваться, цинк

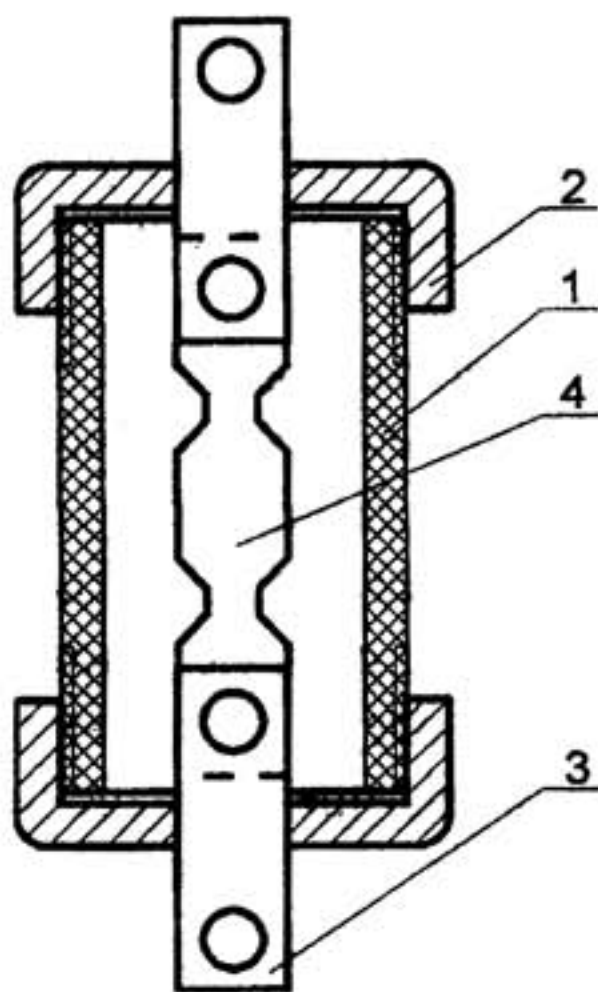


Рис.6.1. Устройство предохранителя типа ПР-2: 1 – фибровый цилиндр, выполняющий роль дугогасительного устройства; 2 – латунные крышки, герметизирующие патрон; 3 – ножевые контакты для крепления плавкой вставки и самого предохранителя; 4 – плавкая вставка

плавится, происходит разрыв силовой цепи и возникновение электрической дуги в месте разрыва. Узкие участки вставки позволяют резко снизить время с момента начала КЗ до появления дуги, а также снижают количество паров металла в патроне, что улучшает условия гашения дуги по сравнению с тем, если бы вставка плавилась по всей длине. Температура дуги около $4 \div 9$ тыс. градусов. Под действием высокой температуры дуги часть поверхности фибровой трубки разлагается и переходит в газообразное состояние. Основными компонентами выделившегося при этом газа являются: водород – 40%, углекислый газ – 50%, водяной пар – 10%. При этом внутри трубки предохранителя образуется давление, достигающее 980 Н/см^2 и более. Наличие перемещающейся газовой среды и давления обеспечивает эффективную деионизацию дугового промежутка и дуга быстро гаснет.

Предохранители и плавкие вставки характеризуются номинальным напряжением, номинальным током, предельно отключаемым током.

- Номинальное напряжение (U_H) – это наибольшее напряжение цепей, в которых разрешается установка данного предохранителя.

- Номинальный ток предохранителя ($I_{H.ПР}$) – это длительный ток, на который рассчитан предохранитель и который определяет диаметр патрона. В один и тот же патрон можно вставить плавкие вставки на различные номинальные токи. Поэтому номинальный ток предохранителя равен наибольшему номинальному току плавкой вставки.

- Номинальный ток плавкой вставки ($I_{н.пл.вст}$) – это наибольший ток, на который рассчитана плавкая вставка.

- Предельно отключаемый ток ($I_{пр.откл}$) – это наибольший ток, при котором еще обеспечивается гашение дуги без каких-либо повреждений патрона предохранителя.

Таблица 6.1

Технические данные предохранителей типа ПР-2

Номинальный ток, А		Предельный отключаемый ток, кА при напряжении, В		
		габарит I	габарит II	
патрона	плавкой вставки	380	380	660
15	6;10;15	0,8	0,8	0,7
60	15;20;25;35;45;60	1,8	4,5	3,5
100	60;80;100	6,0	11,0	10,0
200	100;125;160;200	-	13,0	11,0
350	200;225;260;300;350	-	13,0	11,0

Плавкие вставки на токи более 160А в пускателях применять не рекомендуется вследствие значительного времени их срабатывания. В этих случаях необходимо применять пускатели, снабженные максимальными реле.

6.1.2. Время-токовая характеристика

Важнейшей характеристикой предохранителей является зависимость времени перегорания плавкой вставки от тока (время-токовая характеристика). Предохранители изготавливаются таким образом, чтобы при протекании тока $(1,25 \div 1,3)I_N$ плавкая вставка не перегорала в течение сколь угодно длительного времени. При токе $(1,3 \div 1,5)I_N$ плавкая вставка расплавляется приблизительно через час. При $(1,5 \div 2,0)I_N$ вставка плавится за час и менее. При увеличении тока до $(8 \div 10)I_N$ плавкая вставка плавится почти мгновенно. На рис.6.2 показана время-токовая характеристика плавкой вставки, которая представляется в виде средней кривой 1. Плавкие вставки имеют низкую точность срабатывания вследствие разброса точек времени срабатывания, находящихся

между кривыми 2. Например, плавкая вставка на один и тот же номинальный ток при нагрузке $1,75 I_H$ может иметь различное время срабатывания от t_1 до t_2 .

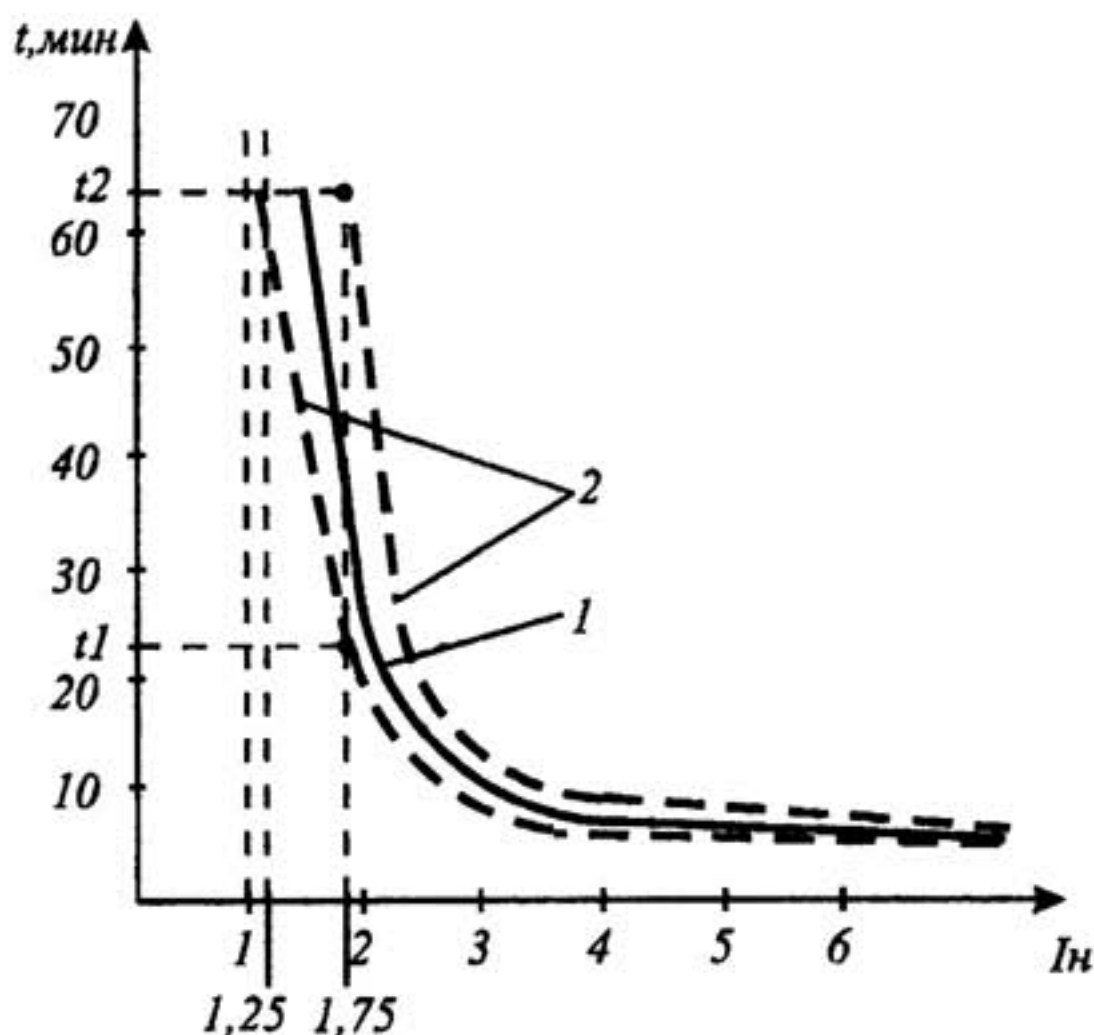


Рис.6.2. Время-токовая характеристика плавкой вставки

Из характеристики видно, что чем больше ток КЗ, тем меньше время срабатывания защиты. Плавкий предохранитель, быстро реагируя на короткие замыкания и значительные перегрузки, хорошо защищает кабели от больших токов, но не обеспечивает защиту двигателей от перегрузки. Двигатель, перегруженный в 1,25 раза, выходит из строя за несколько десятков минут, плавкая вставка на данную перегрузку не реагирует вообще. Это один из недостатков плавкого предохранителя.

На каждый номинальный ток плавкая вставка имеет свою характеристику. Собранные вместе, они образуют семейство защитных характеристик (рис.6.3), по которым можно настраивать защиту селективно.

При одном и том же токе КЗ I_f плавкая вставка с номинальным током $I_H=6A$ перегорает за меньшее время, чем вставка на 10A или 15A. Для того, чтобы предохранители работали селективно, необходимо, чтобы время срабатывания предохранителя на больший ток было не менее, чем в 3 раза больше, чем у предохранителя на меньший ток. Это условие для наиболее тяжелого случая, когда время работы предохранителя на больший номинальный ток имеет наименьшее значение, а у

предохранителя на меньший номинальный ток – наибольшее значение.

Для неответственных случаев при выборе вставок, работающих селективно, можно ориентироваться на отклонение характеристик на $\pm 25\%$.

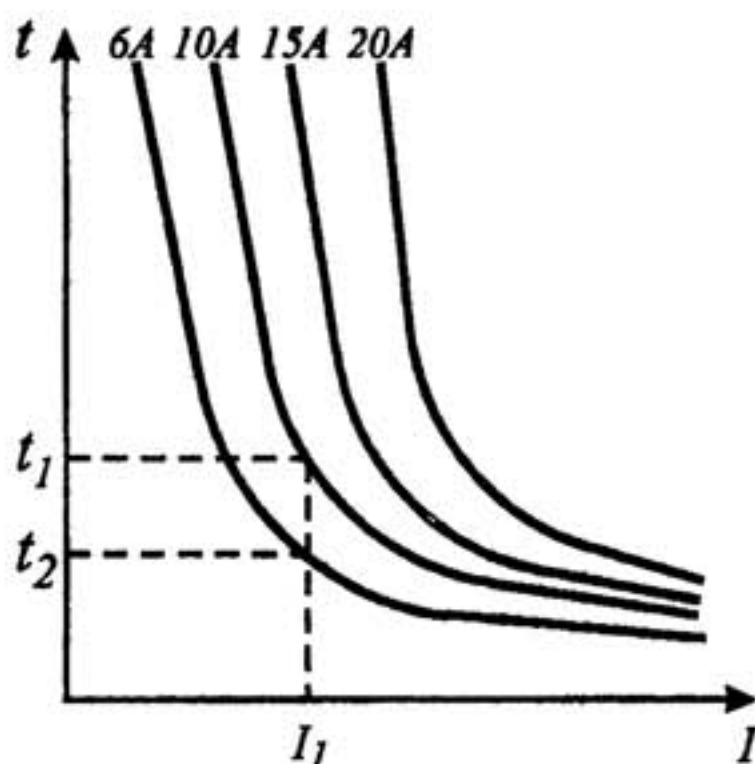


Рис. 6.3. Семейство защитных характеристик плавких вставок

6.1.3. Плавкие предохранители типа ПН-2

Предохранители с мелкозернистым наполнителем (кварцевый песок) типа ПН-2 наиболее часто применяются на различных низковольтных распределительных пунктах общепромышленного исполнения. ПН-2 – предохранитель насыпной, разборный (фарфоровый патрон заполнен кварцевым песком, плавкая вставка из медной фольги) представлен на рис. 6.4.

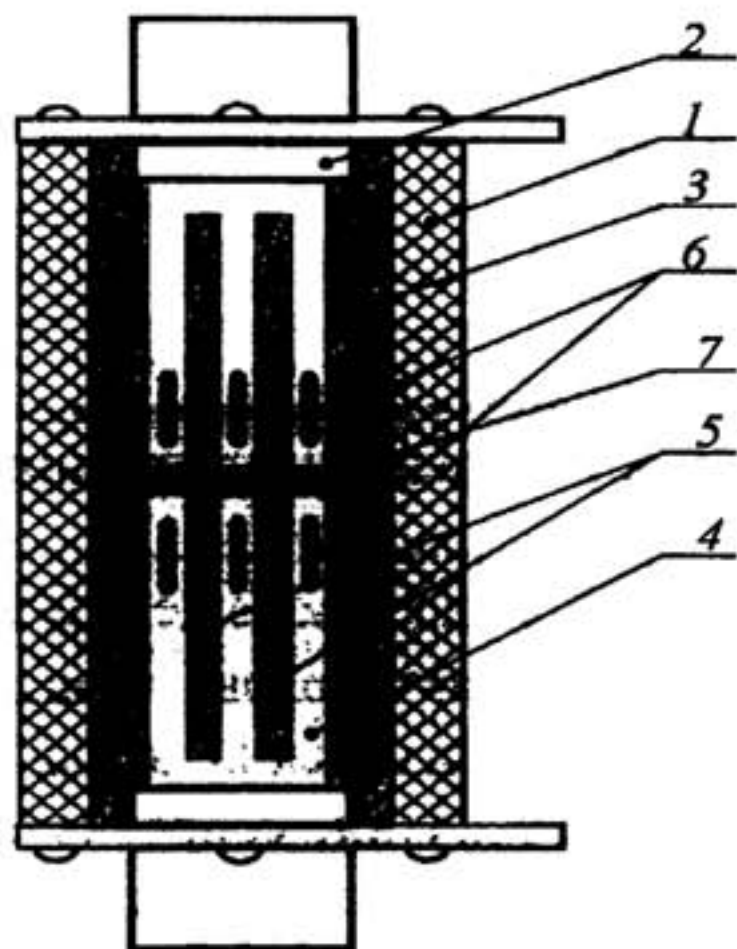


Рис. 6.4. Устройство предохранителя типа ПН-2: 1 – прямоугольный корпус из прочного фарфора; 2 – ножевой контакт для крепления предохранителя; 3 – кварцевый песок для гашения дуги; 4 – плавкая вставка из медной ленты толщиной $0,1 \div 0,2$ мм; 5, 6 – вырезы в медной фольге для улучшения охлаждения вставки песком и уменьшения времени срабатывания; 7 – олово, напаянное на плавкую вставку с целью снижения температуры ее плавления

Данные предохранители обладают высоким быстродействием, позволяющим не пропускать ударное значение тока КЗ, что предохраняет электрооборудование от электродинамических нагрузок.

Принцип работы предохранителей следующий.

Ударный ток КЗ, протекая по плавкой вставке, в течение времени t_1 (рис. 6.5) нагревает ее до температуры плавления (точка 1). Напряжение в этот момент равно нулю $0' - 1'$ (рис. 6.5).

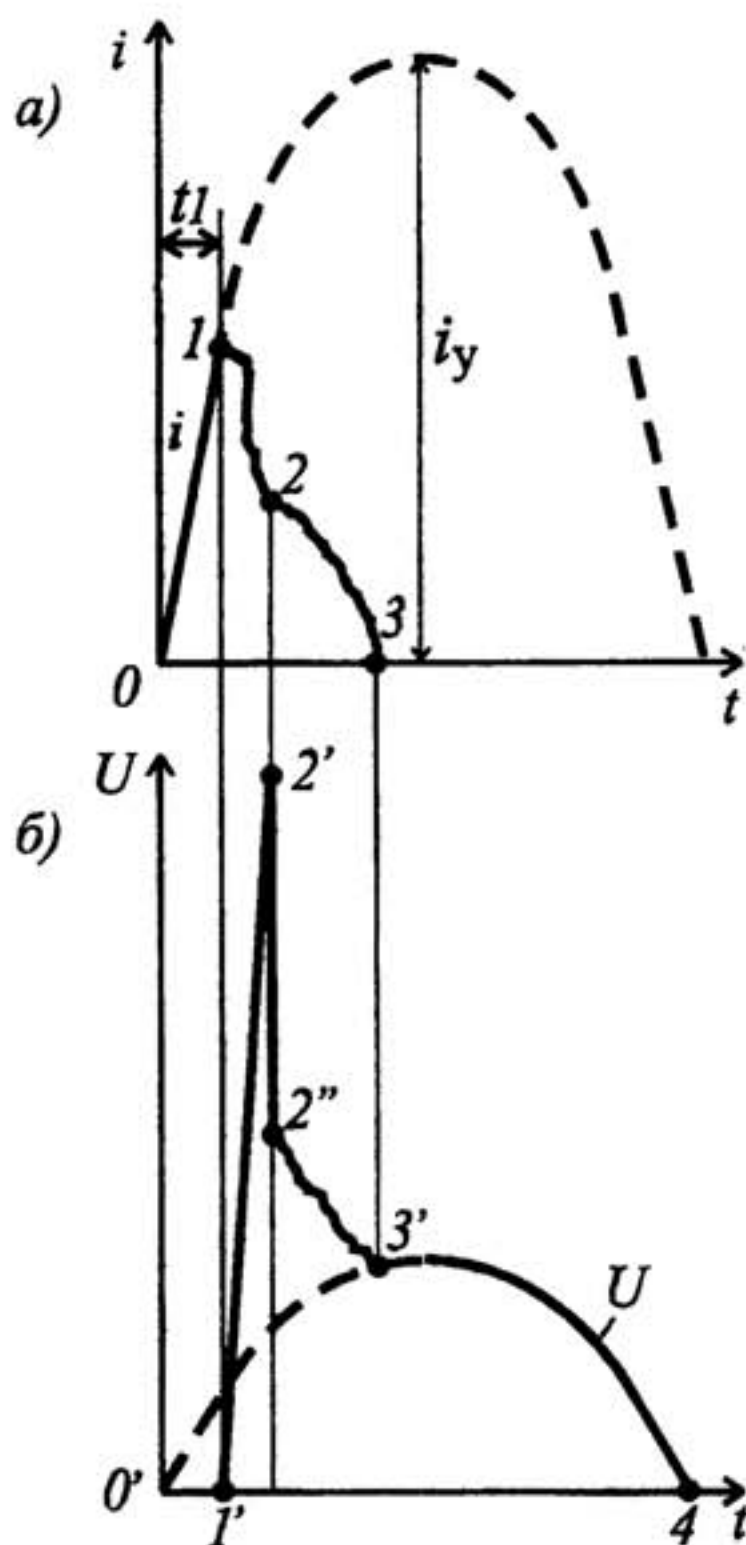


Рис. 6.5. Процесс срабатывания предохранителя типа ПН-2:
а - график изменения тока КЗ; б - график изменения напряжения

При нагреве вставки сначала плавится олово, имеющее низкую температуру плавления (505° K). В месте контакта олова с медной фольгой начинается растворение меди (металлургический эффект) и уменьшение сечения вставки. Это вызывает увеличение сопротивления и повышение потерь в этом месте. Процесс длится до тех пор, пока пла-

вится вставка, где расположено олово. Происходит разрыв силовой цепи, сопротивление промежутка быстро нарастает, а ток КЗ, соответственно, резко уменьшается (кривая 1–2). При резком уменьшении тока магнитные поля сети вызывают индуктирование перенапряжения значительной величины (1'–2'). Когда напряжение на разорванном промежутке плавкой вставки достигает величины напряжения зажигания, загорается дуга (точка 2), а величина перенапряжения резко уменьшается от точки 2' до точки 2''. На участке 2–3 происходит горение дуги в среде кварцевого песка. Кварцевый песок имеет хорошую теплопроводность и развитую охлаждающую поверхность, поэтому дуга гасится очень быстро (за несколько миллисекунд). За время гашения дуги напряжение уменьшается. В точке 3 дуга гаснет, а напряжение становится равным фазному (точка 3').

Быстродействие предохранителя столь велико, что ток КЗ не успевает достигнуть своего ударного значения.

Малые габариты, незначительная затрата дефицитных материалов, высокая токоограничивающая способность – достоинства этого предохранителя.

Таблица 6.2

Технические данные предохранителей типа ПН-2 на 500 В

Тип предохранителя	Номинальный ток, А		Наибольший ток отключения, кА
	предохранителя	плавкой вставки	
НПН*	40	6;10;15;20;25;30;40	-
ПН2-100	100	30;40;50;60;80;100	50
ПН2-250	250	80;100;120;150;200;250	40
ПН2-400	400	200;250;300;400	25
ПН2-600	600	300;400;500;600	25

* - предохранитель насыпной, неразборный.

6.1.4. Предохранители высоковольтные

Высоковольтные предохранители предназначены для защиты силовых цепей и цепей измерительных трансформаторов напряжения от

токов короткого замыкания.

Нормальная работа предохранителей обеспечивается при установке их не выше 1000 метров над уровнем моря и при температуре окружающего воздуха от -40 до $+35$ °С.

Обозначения предохранителей основного исполнения расшифровываются следующим образом: ПК-6/30: П – предохранитель, К – кварцевый (с заполнением кварцевым песком), 6 – номинальное напряжение, кВ, 30 – наибольший номинальный ток, А; ПКТ-6: П – предохранитель, К – кварцевый, Т – для защиты цепей измерительных трансформаторов напряжения, 6 – номинальное напряжение, кВ.

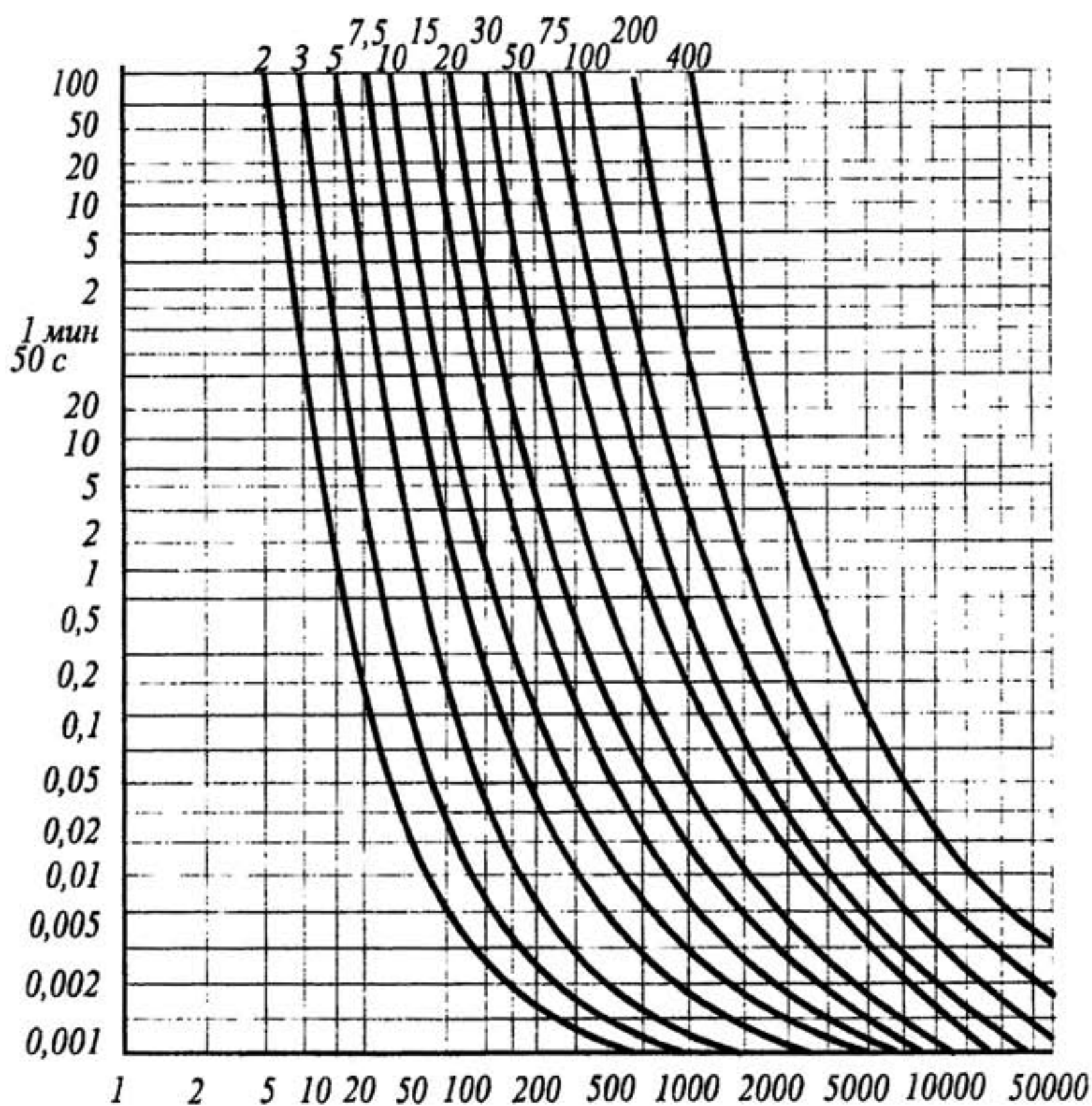


Рис.6.6. Время плавления плавких вставок предохранителей типа ПК в зависимости от эффективного значения тока (на кривых обозначены номинальные токи плавких вставок)

В обозначениях специальных исполнений предохранителей добавляются буквы, поясняющие их назначение. Так, к обозначению предохранителей для наружной установки добавляется буква "н" (ПК-6н/30), а предохранителей для экскаваторов, предназначенных для работы в условиях тряски и вибрации, - Э (ПКЭ-6/2,5). Предохранители, имеющие увеличенную мощность отключения (усиленные), в обозначении имеют букву "У" (ПКУ-35/8; ПКТУ-10), а предохранители в тропическом исполнении - букву "Т", которая ставится в конце обозначения (ПК-10/7,5-Т).

Плавкие вставки для высоковольтных силовых предохранителей внутренней установки выпускаются на номинальные токи: 2; 3; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 200; 300 и 400 А.

Силовые предохранители для наружной установки выпускаются в двух исполнениях: ПК-6н/30 и ПК-10н/30 на все номинальные токи до 30 А по указанной выше шкале.

Для защиты цепей трансформаторов напряжения наружных установок выпускается предохранитель ПКТ-35н.

Время плавления плавких вставок предохранителей в зависимости от величины номинального тока и плавящего тока показано на рис. 6.6.

Выбор силовых предохранителей производят, руководствуясь данными, приведенными в 6.1.5. Предохранители ПК, ПКУ и ПКЭ снабжаются указателем срабатывания и нормально устанавливаются в вертикальном положении, указателем вниз.

О срабатывании предохранителей ПКТ и ПКТУ судят по приборам, включенным в цепь защищаемого трансформатора напряжения.

На рис. 6.7 показан патрон высоковольтного предохранителя типа ПК. Патрон состоит из фарфоровой трубки, заполненной мелким кварцевым песком, внутри которой помещена плавкая вставка.

Предохранители с номинальным напряжением 6 - 10 кВ имеют плавкие вставки в виде одной или нескольких параллельно включенных проволок из меди или серебра. Длина проволоки определяется номинальным напряжением. Так как градиент восстанавливающейся электрической прочности промежутка в кварцевом песке ниже, чем у предохранителей газогенерирующего типа, плавкие вставки кварцевых предохранителей должны иметь большую длину. Поэтому их приходится помещать в патрон либо в виде свободно висящей спирали, либо в виде спирали, намотанной на керамическое основание.

В центре патрона помещается стальная указательная вставка, одним

концом соединенная с указателем срабатывания. При коротком замыкании указательная вставка расплавляется вместе с рабочими вставками, и якорек указателя (блинкера) выталкивается пружиной.

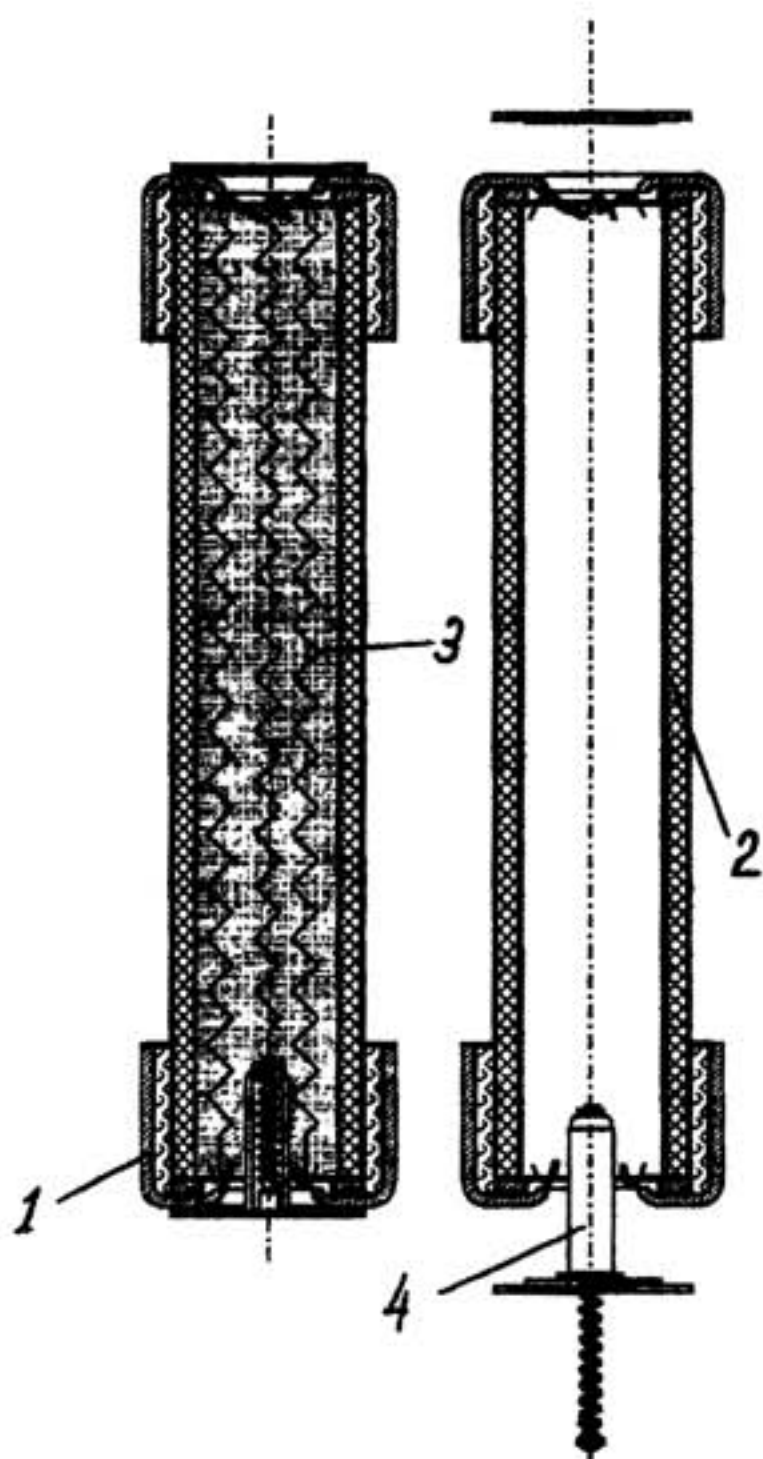


Рис. 6.7. Кварцевый токоограничивающий предохранитель типа ПК на напряжение 10 кВ: 1- металлический колпачок; 2 – фарфоровая трубка; 3 – вставки; 4 – указатель срабатывания

Характеристика плавкой вставки из меди или серебра может быть улучшена, если напаять на нее капли олова или свинца, температура плавления которых значительно ниже. Когда металл напайки плавится, то он быстро растворяет в себе тугоплавкую медь или серебро. Плавкая вставка разрушается в фиксированных точках при температурах более низких, чем температура плавления материала вставки.

Активность процесса гашения дуги в кварцевых предохранителях обусловлена тем, что расплавленные пары металла плавкой вставки распространяются во все стороны между частицами кварца и конденсируются. Сопротивление дуги быстро возрастает, ток в дуге падает до нуля.

Рассмотренные типы предохранителей обладают токоограничивающими свойствами. Время их действия при определенных условиях менее 0,01 с. Электрооборудование, защищенное такими предохранителями, не нуждается в проверке на динамическую и термическую устойчивость.

При быстром увеличении сопротивления дуги напряжение на ней превышает мгновенное напряжение сети. При этом возникают опасные для изоляции перенапряжения.

6.1.5. Выбор предохранителей и плавких вставок

Выбор предохранителей необходимо производить по следующим трем условиям:

1. Номинальное напряжение предохранителя должно быть равно напряжению сети, в которой он будет установлен.

2. Номинальный ток предохранителя должен быть не менее наибольшего номинального тока плавкой вставки, которая в нем будет устанавливаться.

3. Величина предельно отключаемого тока предохранителя должна быть больше наиболее возможного тока КЗ в сети.

Выбор плавких вставок необходимо производить исходя из следующих условий:

1. Номинальный ток плавкой вставки должен быть равен или несколько превышать расчетный ток. В противном случае могут быть ложные срабатывания вставки при расчетном токе.

2. Плавкая вставка не должна отключать установку при перегрузках, свойственных нормальной эксплуатации (например, при пусках двигателя, его кратковременной перегрузке и т. д.).

3. При токах КЗ плавкая вставка должна отключать установку в минимальное время и, по возможности, селективно.

4. Коэффициент чувствительности защиты к токам КЗ должен быть не менее 4 или 7.

Расчетный ток, по которому производится выбор стандартной плавкой вставки, определяется по следующим формулам:

для осветительных нагрузок

$$I_{B.P} = \sum_{i=1}^n I_{H.CB.i}, \quad (6.1)$$

где $I_{H.CB.i}$ - номинальный ток i - го светильника;

для асинхронных двигателей с КЗ ротором

$$I_{B.P} = \frac{I_{H.ПУС.}}{1,6 \div 2,5} = \frac{(5 \div 6)I_H}{1,6 \div 2,5}, \quad (6.2)$$

где $I_{H.ПУС.}$ - номинальный пусковой ток двигателя; I_H - номинальный ток двигателя; $1,6 \div 2,5$ - коэффициент, учитывающий режим запуска двигателя (1,6 применяется для наиболее тяжелых случаев запуска).

Для асинхронных двигателей с фазным ротором

$$I_{B.P} = (1,0 \div 1,25)I_H. \quad (6.3)$$

Для защиты магистрали, которая питает несколько двигателей:

$$I_{В.Р} = \sum I_{Н.РАБ} + \frac{I_{Н.ПУСК.НАИБ}}{1,6 \div 2,5}, \quad (6.4)$$

где $\sum I_{Н.РАБ}$ – сумма номинальных токов всех нормально работающих двигателей (без учета тока наибольшего двигателя); $I_{Н.ПУСК.НАИБ}$ – пусковой ток самого мощного двигателя.

Если защита устанавливается с первичной стороны трансформатора, то расчетное значение тока вставки, вычисленное по токам вторичной стороны, должно быть поделено на величину коэффициента трансформации трансформатора.

По величине расчетного тока вставки выбирается ближайшая большая по величине стандартная вставка.

Выбранная стандартная плавкая вставка должна быть проверена по наименьшему току двухфазного КЗ.

$$\frac{I_{КЗ}^{(2)}}{I_{Н.В.СТ}} \geq 4 \div 7, \quad (6.5)$$

где $I_{КЗ}^{(2)}$ – наименьшее значение тока двухфазного КЗ; $I_{Н.В.СТ}$ – номинальный ток стандартной плавкой вставки; $4 \div 7$ – коэффициент чувствительности защиты – выбирается в зависимости от напряжения сети и тока плавкой вставки.

6.1.6. Недостатки плавких вставок

1. Низкая точность срабатывания, обусловленная большим разбросом параметров вставки.

2. Низкая чувствительность и малая зона действия, что при защите длинных линий служит причиной образования «мертвых зон» защиты и снижения надежности защиты.

3. Значительная инерционность при малых токах КЗ, что может привести к нагреву и загоранию кабельной сети. Срабатывание должно быть за время не более $0,1 \div 0,2$ с.

4. Одноразовость действия и значительное время, необходимое для ее замены.

5. Возможность установки некалиброванной или нестандартной плавкой вставки (постановка «жучка»).

6. При дуговом КЗ, когда резко уменьшаются токи КЗ, время срабатывания

вставки недопустимо увеличивается.

7. Плавкие вставки стареют, меняют свои характеристики, ложно срабатывают, что является причиной их загробления.

8. Плавкие вставки не защищают асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором от перегрузок.

9. Срабатывая в одной из фаз, они вводят двигатель в неполнофазный режим.

6.2. Электромагнитные максимально-токовые реле в низковольтных сетях

6.2.1. Устройство и принцип действия первичных максимально-токовых реле

Максимальные реле электромагнитного типа применяются для защиты элементов электрических сетей от токов короткого замыкания.

В коммутационных аппаратах напряжением до 1000 В применяются только реле мгновенного действия без выдержки времени. Поскольку реле отстраиваются от воздействия пусковых токов асинхронных двигателей, то защищать последние от перегрузок они не могут.

Преимущество максимальных токовых реле перед плавкими вставками состоит в том, что эта защита обладает многократностью действия, обеспечивает отключение всех трех фаз силовой одновременно, позволяет производить четкую настройку защиты, надежно срабатывает за короткое время 0,01-0,02 с даже при малых токах короткого замыкания.

Максимальные реле устанавливаются в пускателях, где своими контактами воздействуют на цепь контакторной катушки (рис. 6.8,а), или в фидерных автоматических выключателях, где воздействуют на механизм свободного расцепления (рис. 6.8,б).

В сетях с заземленной нейтралью максимальные реле устанавливаются во всех трех фазах, а в сетях с изолированной нейтралью, как правило, только в двух, так как в этих сетях отсутствуют однофазные КЗ.

Реле состоит из ферромагнитного сердечника 3, на котором расположена токовая катушка 2. При протекании тока КЗ в сердечнике наводится магнитный поток и притягивается подвижный якорь 4. Якорь воздействует на размыкающий контакт, установленный в це-

пи контакторной катушки КМ. Если реле установлено в QF, то воздействует на механизм свободного расцепления (MCP) выключателя.

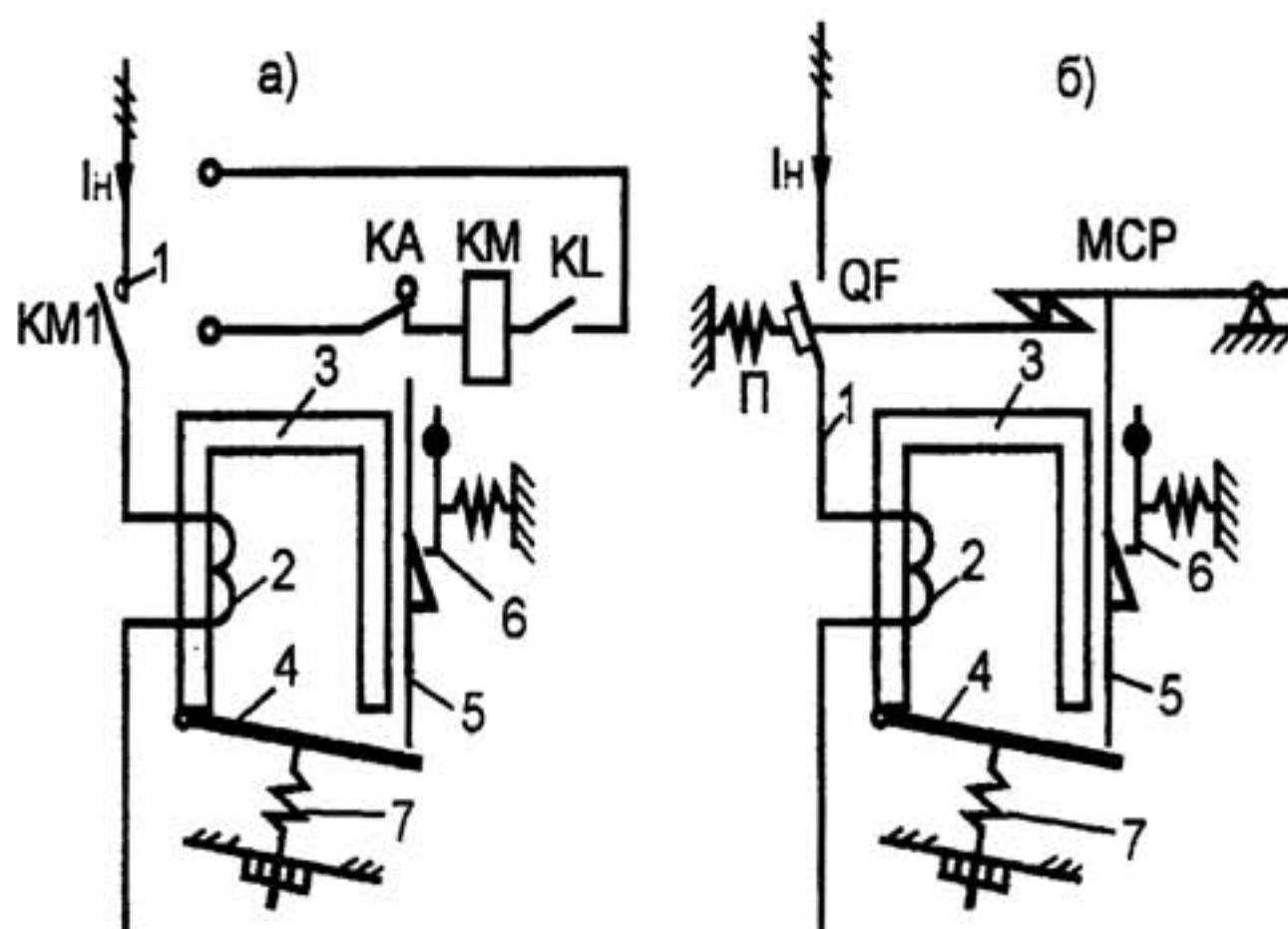


Рис. 6.8. Принципиальное устройство первичного реле максимального тока: а - установка максимального реле в пускателе; б - установка максимального реле в автоматическом выключателе; 1 - одна из фаз силовой цепи; 2 - токовая катушка реле, по которой протекает ток I_n ; 3 - неподвижный сердечник реле, на котором помещается катушка; 4 - подвижный якорь реле; 5 - рычаг для передачи воздействия на контакт КА или механизм свободного расцепления выключателя QF; 6 - защелка для удержания контакта реле в разомкнутом состоянии; 7 - устройство для изменения тока срабатывания реле

В первом случае обесточенная контакторная катушка разрывает силовую цепь контактом КМ, а во втором - расцепляется защелка механизма свободного расцепления и под действием пружины П выключатель QF разрывает силовую цепь. После срабатывания реле становится на защелку 5 с целью предотвращения возможности включения аппаратов на КЗ цепь. Перед включением аппаратов необходимо выяснить причину срабатывания защиты, открыть крышку и освободить контакт от защелки. Изменением натяжения пружины 7 производится изменение уставок срабатывания реле. На специальной шкале нанесены деления и токи срабатывания реле.

Реле максимального тока мгновенного действия имеют время-токовую характеристику, представленную на рис. 6.9. Из рисунка вид-

но, что при токах КЗ больше тока срабатывания реле срабатывают почти мгновенно за одно и то же время t_1 .

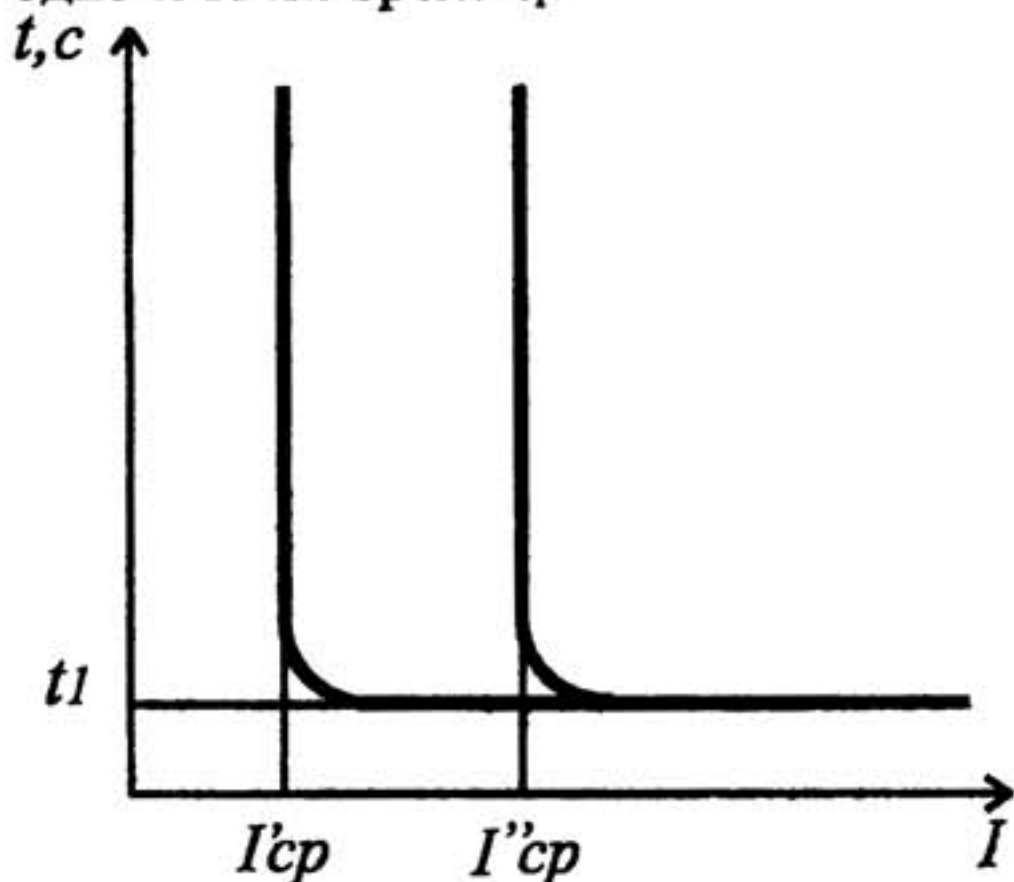


Рис. 6.9. Время-токовая характеристика реле

При увеличении натяжения пружины подвижного якоря увеличивается ток уставки и реле включается при токе I'_{cp} вместо I''_{cp} . При длительной эксплуатации реле данного типа происходит старение и деформация пружины, что приводит к несоответствию между током уставки и действительным током срабатывания. Это является крупным их недостатком. В настоящее время разработано реле типа УМЗ, которое лишено данного недостатка.

6.2.2. Недостатки первичных максимально-токовых реле

Основными недостатками первичных максимально - токовых реле являются:

1. Катушка и вся конструкция громоздкая и грубая, так как встраивается в силовую цепь переменного тока.
2. Поскольку большой вес подвижных частей реле, то время срабатывания значительно.
3. При необходимости проведения проверки на стенде соответствия цифровых уставок реле фактическому току срабатывания приходится доставлять к стенду весь аппарат.
4. Пружина, изменяющая натяжение подвижного якоря с целью изменения установок реле, со временем стареет и меняет свои механи-

ческие свойства, вследствие чего начинаются ложные срабатывания защиты при запусках двигателя. Обслуживающий персонал устраняет данную неисправность путем загробления защиты, которая не срабатывает при возникновении КЗ, вследствие чего возникает пожар.

5. Невозможно использовать стандартные реле.

6.2.3. Вторичные максимально-токовые реле

Вторичные максимально-токовые реле освобождены от многих недостатков, присущих первичным реле. Так в качестве реле защит можно использовать стандартные реле на малые токи, например до 5 А. Эти реле имеют небольшие подвижные массы, вследствие чего уменьшается время их срабатывания. Кроме того, вторичные реле можно выполнить в блочном исполнении со штепсельным соединением с трансформатором тока, что позволяет производить настройку и регулировку этих реле отдельно от коммутационных аппаратов. Исключается влияние регулировочной пружины на точность срабатывания защиты.

Защита типа УМЗ

Удачным примером реализации выше перечисленных преимуществ является защита типа УМЗ.

Устройство выполнено в виде специального блока, который встраивается в магнитные пускатели типа ПВИ и ПМВИ. Электрическая схема УМЗ (рис. 6.10) состоит из двух одинаковых цепей, подключенных к трансформаторам тока ТТ1, ТТ2, зашунтированных резисторами R1, R2 на 180 Ом, напряжение с которых подается на выпрямительные мосты В1 и В2. Мосты питают реле постоянного тока РМ1, РМ2, нормально-замкнутый контакт которых включен в цепь катушки пускателя. Регулирование тока уставки осуществляется сопротивлениями R5, R6. Замыкающийся контакт реле включается в цепь красной сигнальной лампы.

Проверка защиты в шахтных условиях осуществляется током нагрузки пускателя путем размыкания переключателей П1, П2, при этом увеличивается потеря напряжения на сопротивлениях R1, R2, что приводит к срабатыванию реле при их исправном состоянии. После срабатывания контакты реле максимальной защиты должны быть приведены в исходное состояние путем нажатия специальной кнопки, расположенной на крышке блока. Для этого необходимо открыть крышку пускателя.

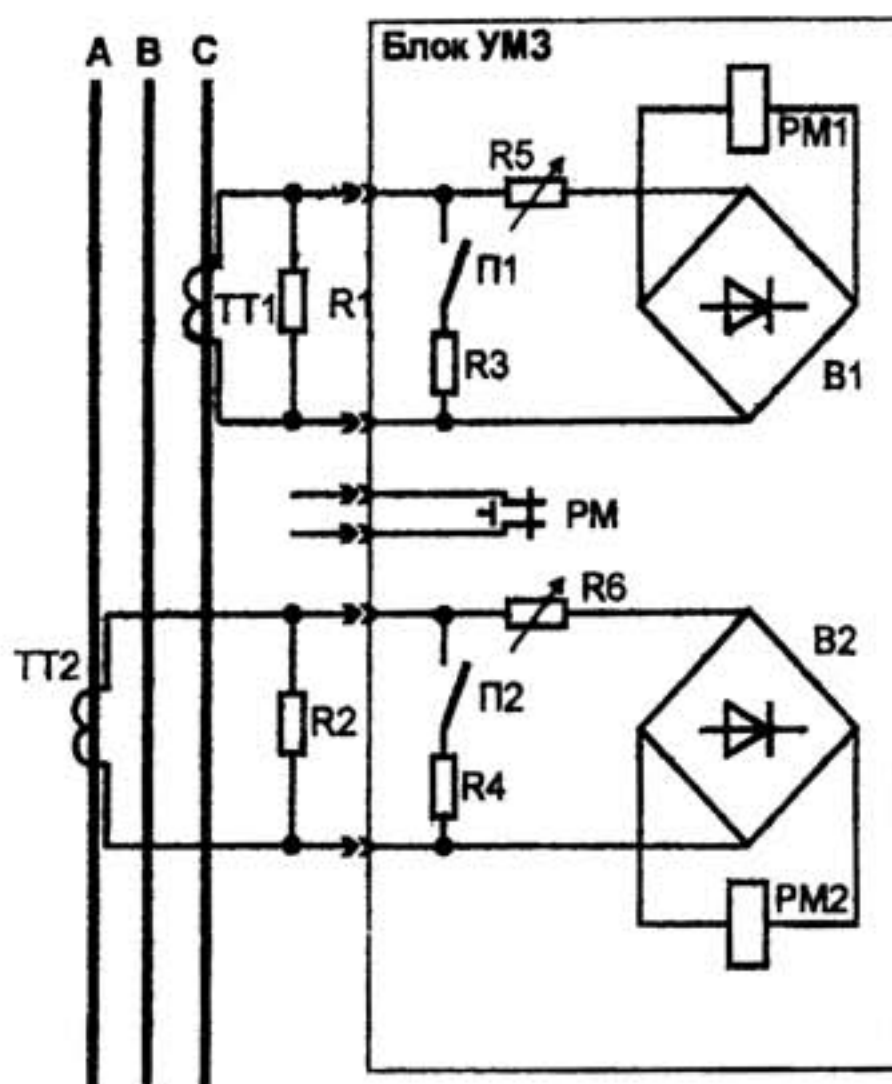


Рис. 6.10. Электрическая схема устройства максимальной защиты типа УМЗ

Регулирование тока уставки производится при помощи переменных сопротивлений R_5 , R_6 . Уставки на шкале блока защиты УМЗ представлены в условных единицах, которые соответствуют фактическим величинам, указаны в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Токи уставки УМЗ

Тип пускателя	Уставки в амперах, соответствующие условным единицам										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ПВИ-25	63	75	87	100	112	125	136	148	162	175	187
ПВИ-63	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
ПВИ-125	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
ПВИ-250	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500

Блоки УМЗ для всех типов пускателей однотипны, однако трансформаторы тока ТТ1, ТТ2, встроенные в пускатели, различны, что и обеспечивает, например, для условной единицы различные токи устав-

ки 63, 125, 250, 500 А соответственно для пускателей ПВИ – 25, 63, 125, 250.

Защите типа УМЗ присущи следующие недостатки:

1. Значительный вес и габариты УМЗ.
2. Большой расход конструкционных материалов.
3. Наличие громоздких реле и механических элементов.
4. Значительное время срабатывания реле.

Полупроводниковая защита типа ПМЗ

Полупроводниковая защита типа ПМЗ малогабаритна, имеет небольшой вес и построена на основе полупроводниковых элементов, имеет меньшее время срабатывания, чем у блока УМЗ.

Блок защиты ПМЗ выполнен быстросъемным, в пылевлагозащищенном исполнении. В корпусе блока на платах с печатным монтажом установлены элементы схемы. На лицевую часть блока выведены ручка установки уставок, рукоятки переключателя положений «Работа» или «Проверка». Для обеспечения быстросъемности блок имеет контактную вилку штепсельного разъема.

Техническая характеристика максимальной токовой защиты ПМЗ:

Номинальное напряжение аппаратов, в которых установлена защита, В.....	380; 660; 1440
Номинальный ток аппаратов, А	25; 63; 100; 125; 250; 320
Диапазон регулирования уставок	2-6/ном
Собственное время срабатывания, с	по графику на рис. 6.11
Погрешность тока срабатывания (%) при температуре окружающей среды, °С:	
25±10	±10
от –10 до +15 и от 35 до 60	±15
Габаритные размеры, мм	120X64X140
Масса, кг	0,65

Основное отличие ПМЗ от УМЗ – быстроедействие. На рис. 6.11 показан график зависимости времени срабатывания $t_{ср}$ защиты ПМЗ от кратности тока КЗ к току уставки. Уставки срабатывания ПМЗ нанесены на шкалах блока в условных единицах.

Защита ПМЗ состоит из установленных в трех фазах трансформаторов тока ТА1, ТА2, ТА3 и блока защиты, в котором размещены элементы схемы (рис. 6.12).

Вторичные обмотки трансформаторов тока соединены в «звезду»,

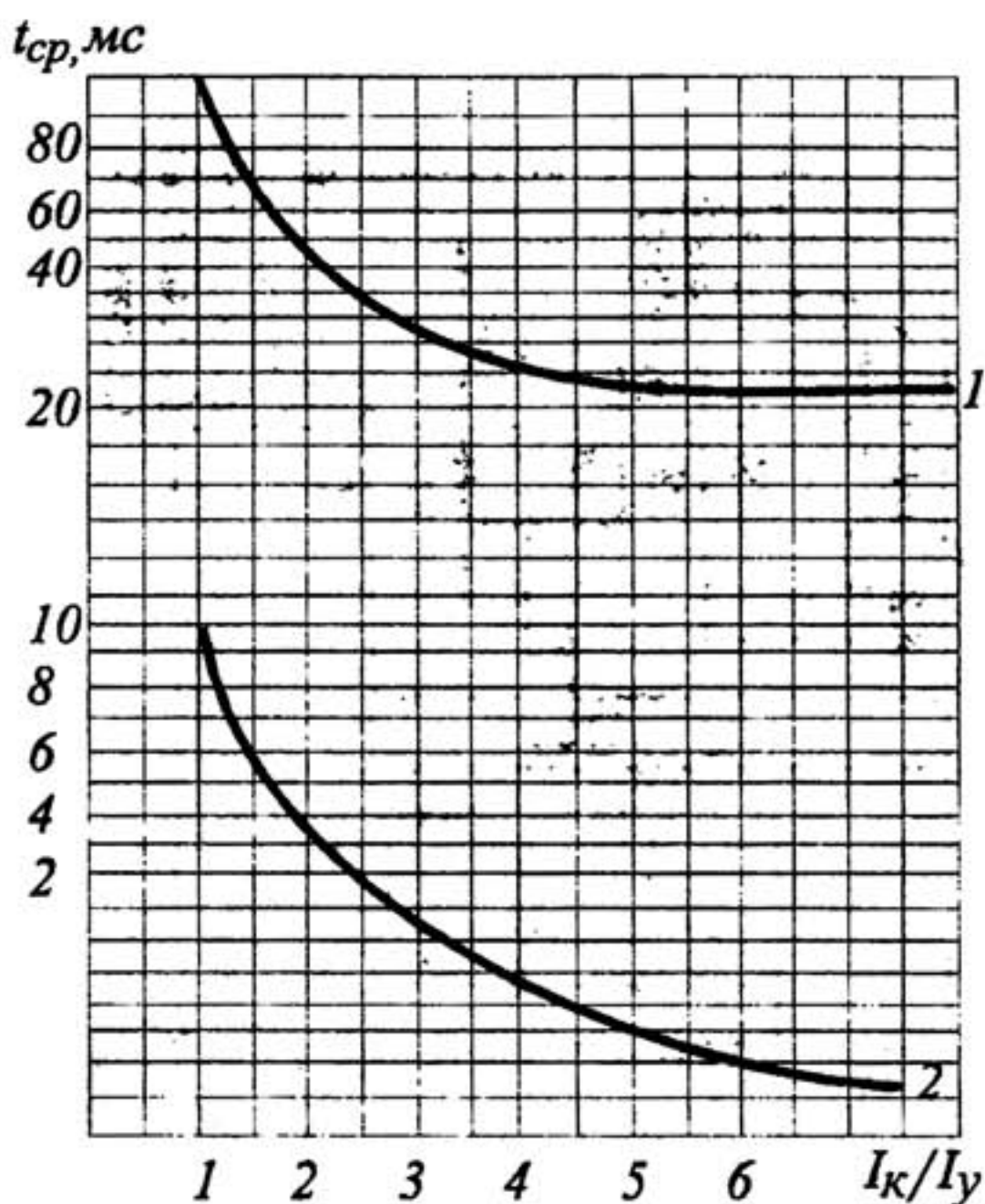


Рис. 6.11. График зависимости собственного времени срабатывания блоков УМЗ (1) и ПМЗ (2) от кратности тока КЗ к току установки

параллельно каждой обмотке присоединены резисторы R. Между началами вторичных обмоток трансформаторов тока и нулевым проводом присоединены измерительная и исполнительная части схемы защиты ПМЗ. При таком построении схемы трансформаторы тока являются не только датчиками тока, но и источником питания цепи исполнительного органа защиты, состоящего из последовательно включенных трехфазного выпрямительного моста, собранного на диодах V1, V3, V5, диода V18, обмотки независимого расцепителя YAT автоматического выключателя, тиристора V14 и диода V10.

Параллельно обмотке независимого расцепителя YAT присоединена одна из обмоток двухобмоточного электромагнитного реле K.1 с магнитной защелкой.

Измерительная часть схемы содержит трехфазный выпрямительный мост, собранный на диодах V7-V9, делитель напряжения на резисторах R4-R7 и полупроводниковое реле короткого замыкания, вход ко-

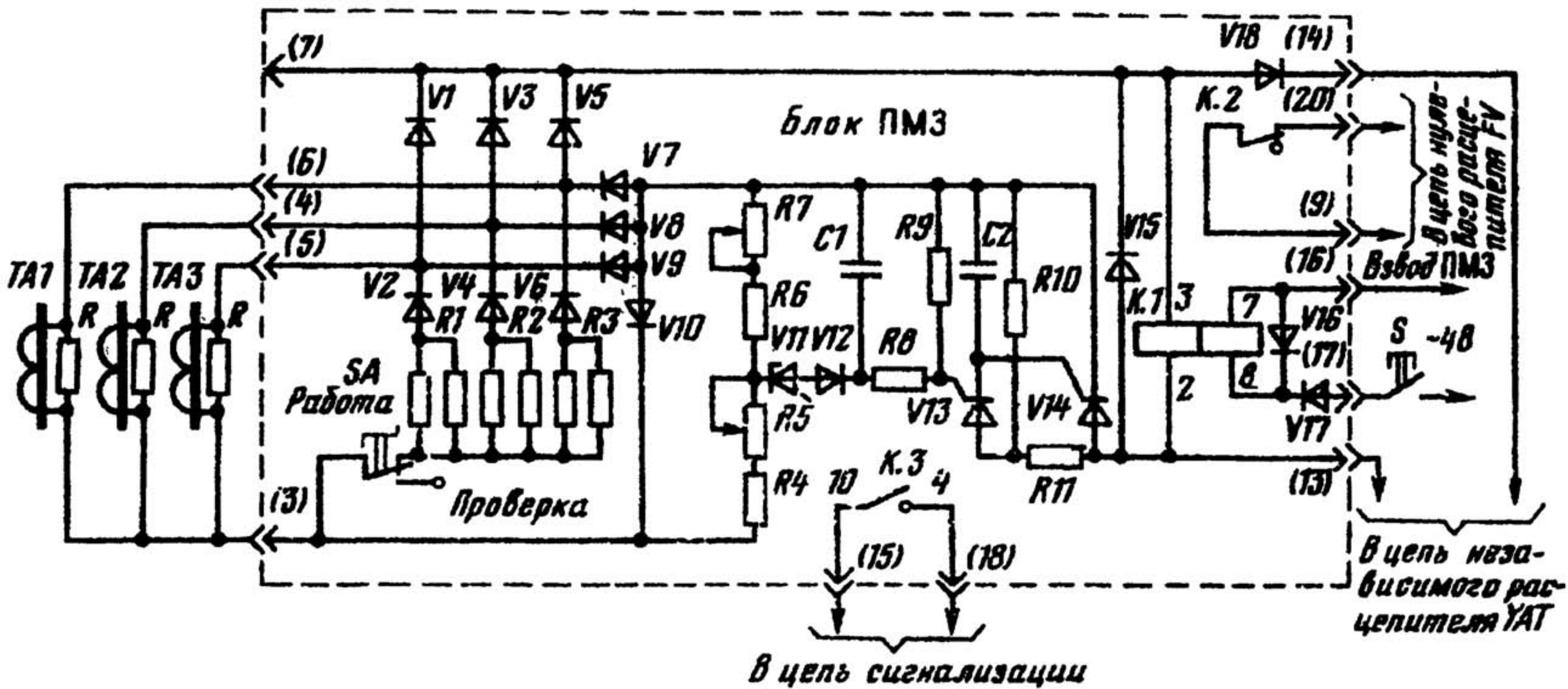


Рис. 6.12. Принципиальная электрическая схема защиты ПМЗ

торого присоединен к делителю напряжения, а выход — к управляющему электроду тиристора V14.

Полупроводниковое реле короткого замыкания состоит из стабилитрона V11, диода V12, конденсаторов C1, C2, резисторов R8, R9 и тиристора V13.

Чтобы проверить действие защиты, параллельно измерительной части схемы через переключатель SA присоединяется трехфазный выпрямитель, последовательно с вентилями которого V2, V4, V6 включены соответственно резисторы R1, R2, R3.

Питание исполнительной части схемы от трансформаторов тока осуществляется напряжением, снимаемым с резисторов R, а питание измерительной части схемы — напряжением, снимаемым с резисторов R и одного из резисторов R1 (R2, R3) дополнительного трехфазного выпрямительного моста.

Уставку срабатывания защиты ПМЗ регулируют переменным резистором R5 в одном из плеч делителя напряжения.

Схема защиты ПМЗ работает следующим образом. При токе в сети, превышающем уставку защиты, напряжение резистора R подается на электроды силового тиристора V14, а напряжение с параллельно соединенных резисторов R и R1 (R2, R3) — на делитель напряжения R4-R7. Если напряжение на плече делителя с резисторами R6 и R7 превысит напряжение стабилитрона V11, то подается сигнал на управляющий электрод тиристора V13, вызывая его открывание и подачу тока смещения на управляющий электрод тиристора V14. При этом тиристор V14 открывается и обуславливает срабатывание независимого расцепителя автомата YAT и реле K.1. Контакт K.3 включает цепь сигнализации о срабатывании защиты ПМЗ, а контакт K.2, разрывая цепь питания нулевого расцепителя автомата FV, блокирует включение. Возврат реле K.1 в исходное состояние осуществляется подачей напряжения 48 В на его вторичную обмотку (зажимы 16 и 17) кнопкой S.

Проверка действия защиты на месте установки аппарата: Установить переключатель SA в положение «Проверка». При этом общая точка выпрямителя, собранного на диодах V2, V4, V6 с резисторами R1, R2, R3, оказывается отсоединенной от обмоток трансформаторов тока. При таком положении на измерительную часть схемы напряжение с трансформаторов тока будет подаваться не с параллельно соединенных резисторов R1 (R2, R3), а с резистора R, что увеличивает чувствительность схемы. При пуске наиболее мощного электродвигателя защита

должна сработать. После проверки переключатель установить в положение «Работа». Проверку защиты в период эксплуатации необходимо производить не реже одного раза в шесть месяцев.

6.2.4. Выбор уставок реле для защиты низковольтных установок

Расчетное значение тока уставки реле определяется по следующим формулам:

- для осветительных нагрузок (ламп накаливания)

$$I_{ур} = 3 \sum I_H, \quad (6.6)$$

где 3 – коэффициент, учитывающий бросок тока при включении холодных ламп; $\sum I_H$ – суммарный ток всех светильников;

- для асинхронных двигателей с КЗ ротором

$$I_{ур} = I_{H.ПУСК} = (5 \div 7) I_{H.Д}, \quad (6.7)$$

где $I_{H.ПУСК}$ – пусковой ток двигателя; $I_{H.Д}$ – номинальный ток двигателя.

Для отстройки от переходных процессов целесообразно увеличить уставку на 25% :

- для защиты магистрали, от которой питается несколько электродвигателей:

$$I_{ур} = I_{H.ПУСК} + \sum I_H, \quad (6.8)$$

где $I_{H.ПУСК}$ – пусковой ток наиболее мощного двигателя; $\sum I_H$ – суммарный ток всех остальных двигателей.

По расчетному току уставки принимается ближайшая большая уставка, имеющая цифровое обозначение на реле, которая должна быть проверена по току двухфазного КЗ:

$$\frac{I_{кз}^{(2)}}{I_y} > 1,5. \quad (6.9)$$

Коэффициент 1,5 принимается для надежности срабатывания защиты.

6.2.5. Недостатки реле

Максимальным токовым реле присущи следующие недостатки: некоторое усложнение конструкции и удорожание стоимости ап-

паратуры;

несоответствие характеристики реле тепловой характеристике двигателя, что не всегда дает возможность использовать его для защиты двигателей от перегрузок.

6.3. Защиты от токов КЗ в высоковольтных сетях

В высоковольтных сетях для защиты от токов КЗ могут применяться следующие виды защит:

- максимально-токовая защита (МТЗ);
- токовая отсечка;
- продольная дифференциальная;
- поперечная дифференциальная;
- токовые направленные защиты;
- дистанционные и др.

По степени важности защиты могут быть:

Основная – это защита, обеспечивающая быстрое и селективное отключение повреждения в пределах защищаемого элемента. Эта защита может также резервировать защиты смежных элементов.

Резервная – это защита, которая резервирует основную защиту элемента в случае ее неисправности, вывода в ремонт и др. Резервная защита устанавливается только на тех элементах, где невозможно резервирование основной защиты данного элемента основной защитой смежного элемента.

Вспомогательная – эта защита применяется для ускорения действия основной защиты при повреждениях в защищаемой зоне, а также для действия в мертвой зоне основной защиты. Вспомогательная защита обычно резервирует основную защиту в случае ее отказа.

6.3.1. Максимально-токовая защита (МТЗ)

Особенностью МТЗ является то, что селективность защиты обеспечивается за счет выдержки времени.

Основными элементами схемы МТЗ являются: токовые реле, срабатывающие при появлении тока КЗ и играющие роль пускового органа защиты, и реле времени, создающие выдержку времени. В качестве вспомогательных реле используются реле промежуточное и указательное (рис. 6.13, а).

При возникновении КЗ срабатывают токовые реле КА1 и КА2, по которым проходит ток КЗ и которые замыкают свои контакты в цепи реле времени КТ. Реле времени отработывает заданную выдержку времени и замыкает свой контакт в цепи промежуточного реле КЛ, которое в свою очередь замыкает свой контакт КЛ в цепи отключающего КРУ электромагнита УАТ. Сигнальное реле КН указывает на срабатывание МТЗ.

МТЗ устанавливается в начале каждой линии со стороны питания и должна срабатывать при превышении тока сверх установленной величины.

В сетях с изолированной нейтралью однофазные КЗ исключены, поэтому защиты выполняются в двухфазном исполнении с двумя трансформаторами тока. Трансформаторы тока должны включаться во всей сети данного напряжения в одни и те же фазы, чтобы при двойных замыканиях на землю обеспечить отключение одного места повреждения.

В зависимости от типа применяемого реле время-токовая характеристика защиты может быть ограниченно зависимой (при реле типа РТ-80) и независимой (при реле РТ-40) (рис. 6.13, б).

При КЗ в какой-либо точке сети, например в точке К1 (рис. 6.14, а), ток КЗ проходит по всем участкам сети, расположенным между источником питания и местом повреждения, в результате чего приходят в действие все защиты (1, 2, 3, 4). Однако по условию селективности работать на отключение должна только защита 1, установленная на поврежденной линии. Для обеспечения указанной селективности максимальная защита выполняется с задержкой времени, нарастающей от потребителей к источнику питания.

При соблюдении этого принципа в случае КЗ в точке К1 раньше других сработает защита 1 и произойдет отключение поврежденной линии. Защиты 2, 3 и 4 вернутся в исходное положение, не успев подействовать на отключение. Рассмотренный принцип подбора выдержек времени называется ступенчатым (рис. 6.14, б).

Ток срабатывания пусковых токовых реле выбирается таким образом, чтобы обеспечить надежную отстройку защиты от максимального рабочего тока.

$$I_{C.3} = \frac{k_H k_3}{k_B} I_{РАБ. МАХ}, \quad (6.10)$$

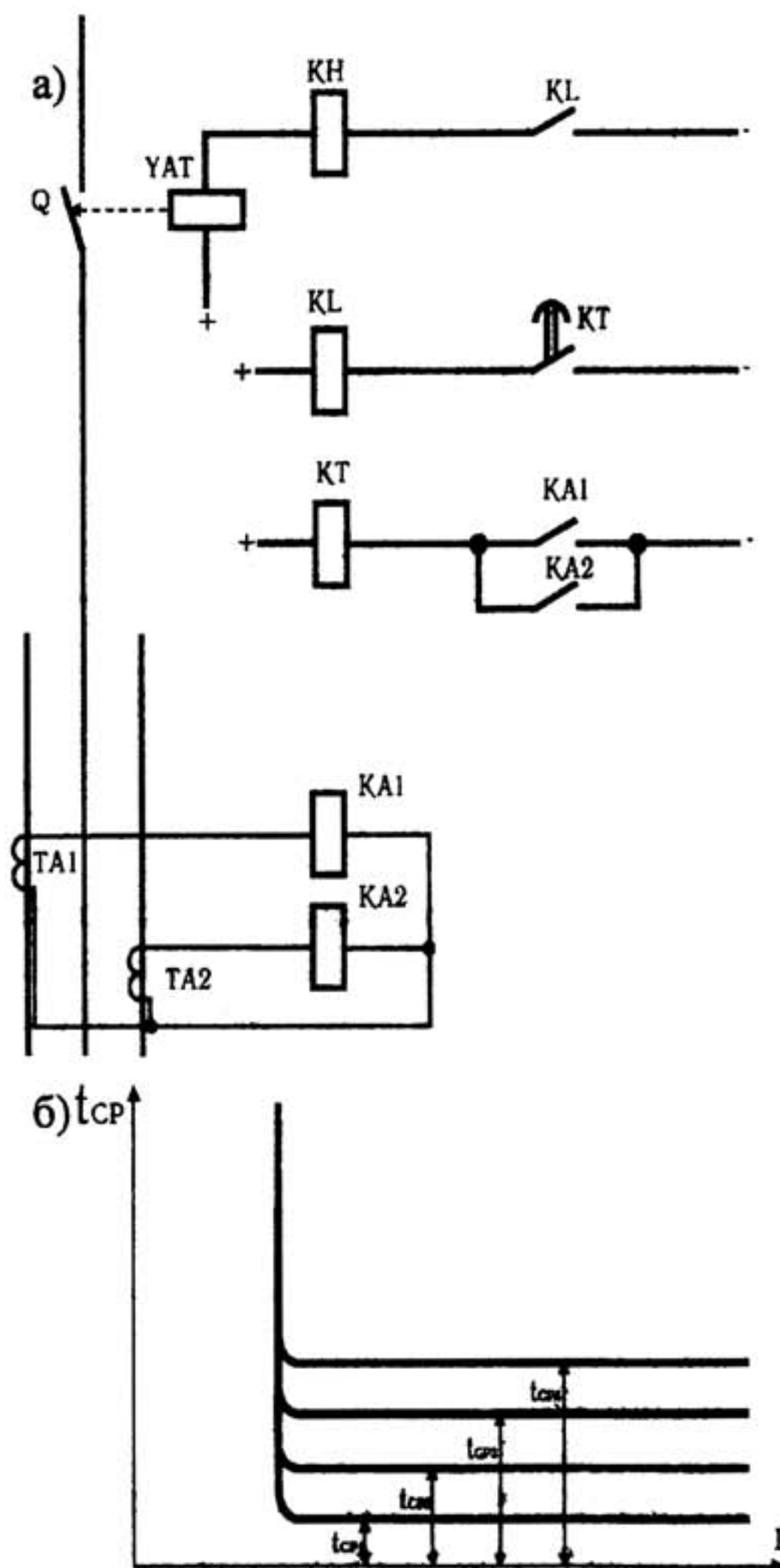


Рис. 6.13. Принципиальная электрическая схема КРУ с защитой МТЗ: а - КРУ с МТЗ с использованием реле РТ-40; б - независимая время-токовая характеристика защиты с различными уставками реле времени

где $k_H=1,05-1,25$ – коэффициент надежности, учитывающий погрешность реле и неточность расчета; $k_3=2-3$ – коэффициент, учитывающий самозапуск электродвигателей; $k_B=0,8-0,9$ – коэффициент возврата.

Ток срабатывания реле максимальной токовой защиты определяется:

$$I_{C.P.} = \frac{k_H k_3 k_{CX}}{k_B n_T} I_{РАБ. МАХ}, \quad k_{CX} = \frac{I_P}{I_{2.TT}}. \quad (6.11)$$

Чувствительность токовой защиты оценивается коэффициентом чувствительности:

$$k_{\chi} = \frac{I_{K3}}{I_{C.3}}, \quad (6.12)$$

коэффициент чувствительности принимается равным 1,5 для основных защит и 1,2 – для резервных.

6.4. Токовая отсечка

Токовой отсечкой называется защита, ток срабатывания которой выбирается по значению тока КЗ в определенной точке защищаемой линии. Токовая отсечка может быть мгновенной и с выдержкой времени. Наиболее часто применяется мгновенная токовая отсечка.

КРУ с мгновенной токовой отсечкой представлена на рис. 6.15, а. При возникновении токов КЗ срабатывают токовые реле КА1, КА2 и посредством контакта промежуточного реле КЛ включается электромагнит отключения КРУ УАТ. Срабатывание токовой отсечки происходит без выдержки времени.

Принцип действия токовой отсечки линии с односторонним питанием более подробно показан на рис. 6.15.

Принцип действия отсечки основан на том, что величина тока КЗ убывает при удалении места КЗ от источника питания. При КЗ в начале линии у места установки защиты величина тока КЗ имеет наибольшее значение и по мере удаления места КЗ от источника питания постепенно уменьшается, поскольку увеличивается сопротивление до места КЗ.

$$I_{K3} = \frac{E_C}{X_C + X_0 L_K}, \quad (6.13)$$

где E_C – эквивалент ЭДС системы; X_C – сопротивление системы;

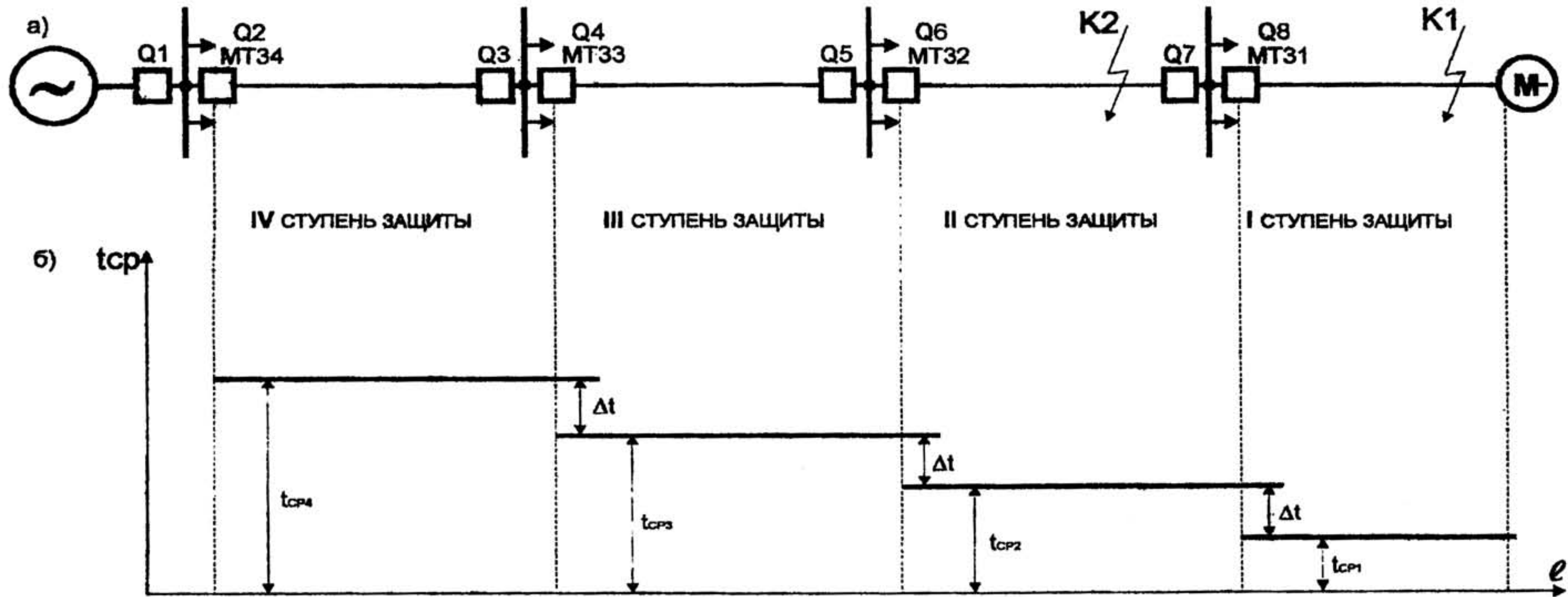


Рис.6.14. МТЗ в магистральной сети с односторонним питанием:
а – размещение защит; б – выдержка времени

X_0 - удельное сопротивление линии; L_K - длина защищаемой линии от ее начала до точки КЗ.

По условию селективности с защитами остальной сети отсечка без выдержки времени не должна работать за пределами защищаемой линии АБ. Ток срабатывания мгновенной отсечки должен удовлетворять условию

$$I_{C.3.} = K_H \cdot I^{(3)}_{K...3 \text{ ВН. МАХ.}}$$

В отличие от максимальной токовой защиты отсечка при внешних КЗ не срабатывает, поэтому коэффициент возврата K_B при выборе тока срабатывания не учитывается. Ток $I^{(3)}_{K...3 \text{ ВН. МАХ.}}$ принимается равным действующему значению периодической составляющей тока внешнего КЗ при $t=0$. Влияние апериодической составляющей учитывается коэффициентом K_H , который принимается для РТ-40 равным $1,2 \div 1,3$, а РТ-80 - $1,5 \div 1,6$.

Для сокращения числа случаев работы отсечки с уменьшенными зонами реле включается на полные фазные токи по схемам $K_{CX} = I$. Поэтому во всех видах КЗ ток срабатывания реле

$$I_{CP} = \frac{k_H I^{(3)}_{KЗ.ВН.МАХ.}}{k_{TT}}. \quad (6.14)$$

Зона действия токовой отсечки определяется графически. Обычно строятся кривые тока КЗ в зависимости от расстояния до точки КЗ для максимального (*кривая 1*) и минимального (*кривая 2*) режимов и по точке пересечения их с прямой $I_{C.3}$ находится конец зоны отсечки в максимальном и минимальном режимах. Зона действия отсечки зависит от характера (крутизны кривой) спада тока по длине линии. Чем больше различаются токи при КЗ в начале и в конце линии, тем больше получается зона, охватываемая отсечкой. ПУЭ рекомендуют применять отсечку, если ее зона действия охватывает не меньше 20 % защищаемой линии.

В сетях с глухозаземленной нейтралью во всех видах КЗ применяются трехфазные схемы. В качестве защиты от междуфазных КЗ используется двухфазная схема неполной звезды.

В сетях с изолированной нейтралью применяются двухфазные схемы.

Время действия мгновенной отсечки складывается из времени срабатывания токовых и промежуточных реле. При быстродействующих промежуточных реле (0,02 с) отсечка срабатывает в течение

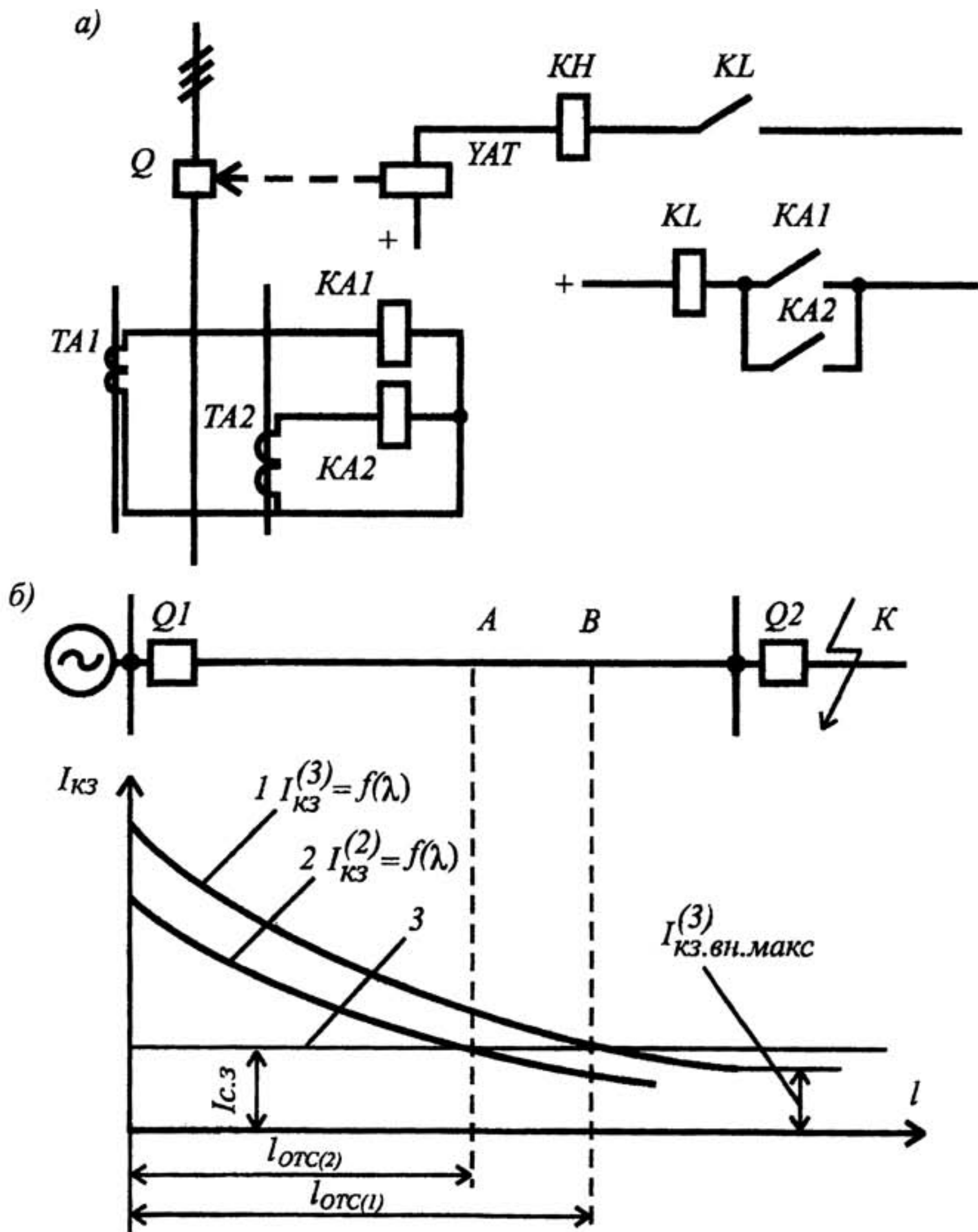


Рис.6.15.Принцип работы токовой отсечки: а - комплектное распределительное устройство с токовой отсечкой; б - принцип настройки токовой отсечки

$t_3 = 0,04; 0,06$ с. Промежуточное реле облегчает работу контактов токовых реле и позволяет не учитывать апериодическую составляющую тока КЗ, поскольку последняя затухает очень быстро (за $0,02; 0,03$ с). На линиях, защищенных от перенапряжения трубчатыми разрядниками, отсечка может срабатывать при их действии. Время работы разрядников составляет около $0,01; 0,02$ с. При каскадном воздействии разрядников оно увеличивается до $0,04; 0,06$ с. Применением промежуточного реле со временем действия $0,06; 0,08$ с удастся отстроить отсечку от работы разрядников.

Токовые отсечки могут использоваться также для линий с двухсторонним питанием. Токовая отсечка в таких схемах устанавливается с обеих сторон защищаемой линии, а также для защиты силовых трансформаторов (рис. 6.16).

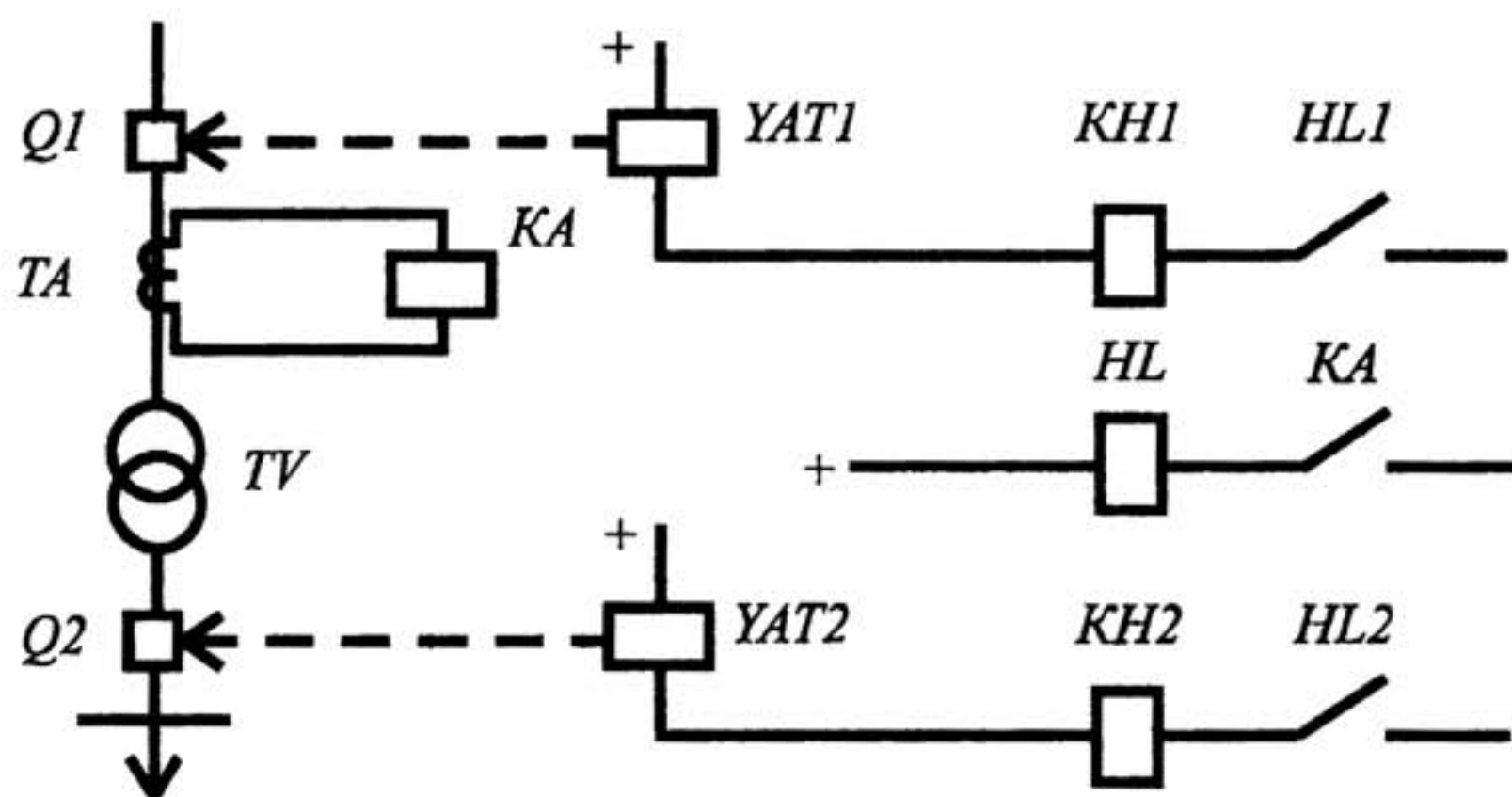


Рис.6.16. Токовая отсечка для защиты силового трансформатора

6.5. Направленные токовые защиты

В замкнутых электрических сетях невозможно обеспечить селективность действия и чувствительность простых токовых защит, т.к. токи КЗ к месту повреждения могут протекать через участки сети различных направлений и поврежденный участок должен отключаться несколькими выключателями.

Для обеспечения селективности действия токовых защит необходимо, чтобы они реагировали только на одно направление мощности при $K3$. Такие токовые защиты называются направленными токовыми защитами. Для придания направленности токовые защиты снабжаются дополнительными реле направления мощности.

На рис. 6.17 представлена замкнутая схема электроснабжения, где селективность токовой защиты обеспечивается применением реле направления мощности M . Если в этой схеме установить обыкновенную максимальную токовую защиту, то при замыкании в точке $K1$ должны отключаться выключатели $Q1$ и $Q2$, а выдержка времени выключателя $Q2$ $t2$ должна быть меньше $t3$.

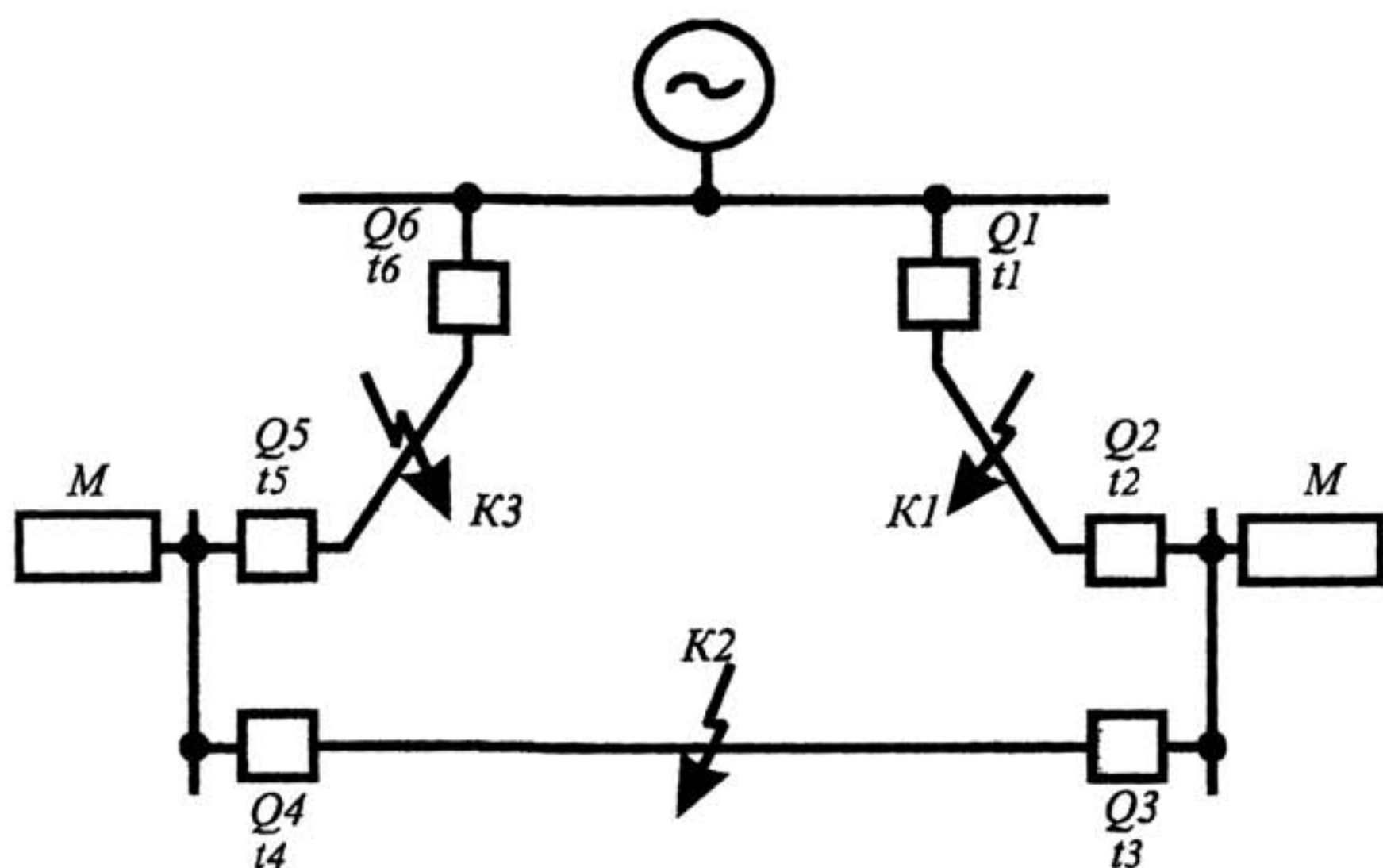


Рис. 6.17. Замкнутая схема электроснабжения

Если замыкание в точке $K2$, то выдержка времени выключателя $Q3$ $t3$, наоборот, должна быть меньше $t2$. Выполнить оба этих условия невозможно.

Для обеспечения селективности достаточно в защиту выключателей $Q2$ и $Q5$ ввести реле направления мощности. Реле должно быть включено так, чтобы оно замыкало свои контакты при направлении мощности в сторону защищаемой линии. При повреждении в точке $K1$

защита $Q2$ будет срабатывать и отключать поврежденную линию. Аналогично будет срабатывать защита $Q5$ в точке $K3$.

При повреждении в точке $K2$ направление мощности изменяется и защита выключателей $Q2$ и $Q5$ работать не будет. Выдержка времени выбирается по встречно-ступенчатому методу:

$$t1 > t3 > t5;$$

$$t2 > t4 > t6;$$

$t2$ и $t5$ могут быть равны нулю.

В общем случае направленная токовая защита имеет при органе: пусковой (токовое реле $KA1$ и $KA2$) (рис. 6.18), выдержка времени (реле времени KT) и направления мощности (реле направления мощности $KQ1$ и $KQ2$).

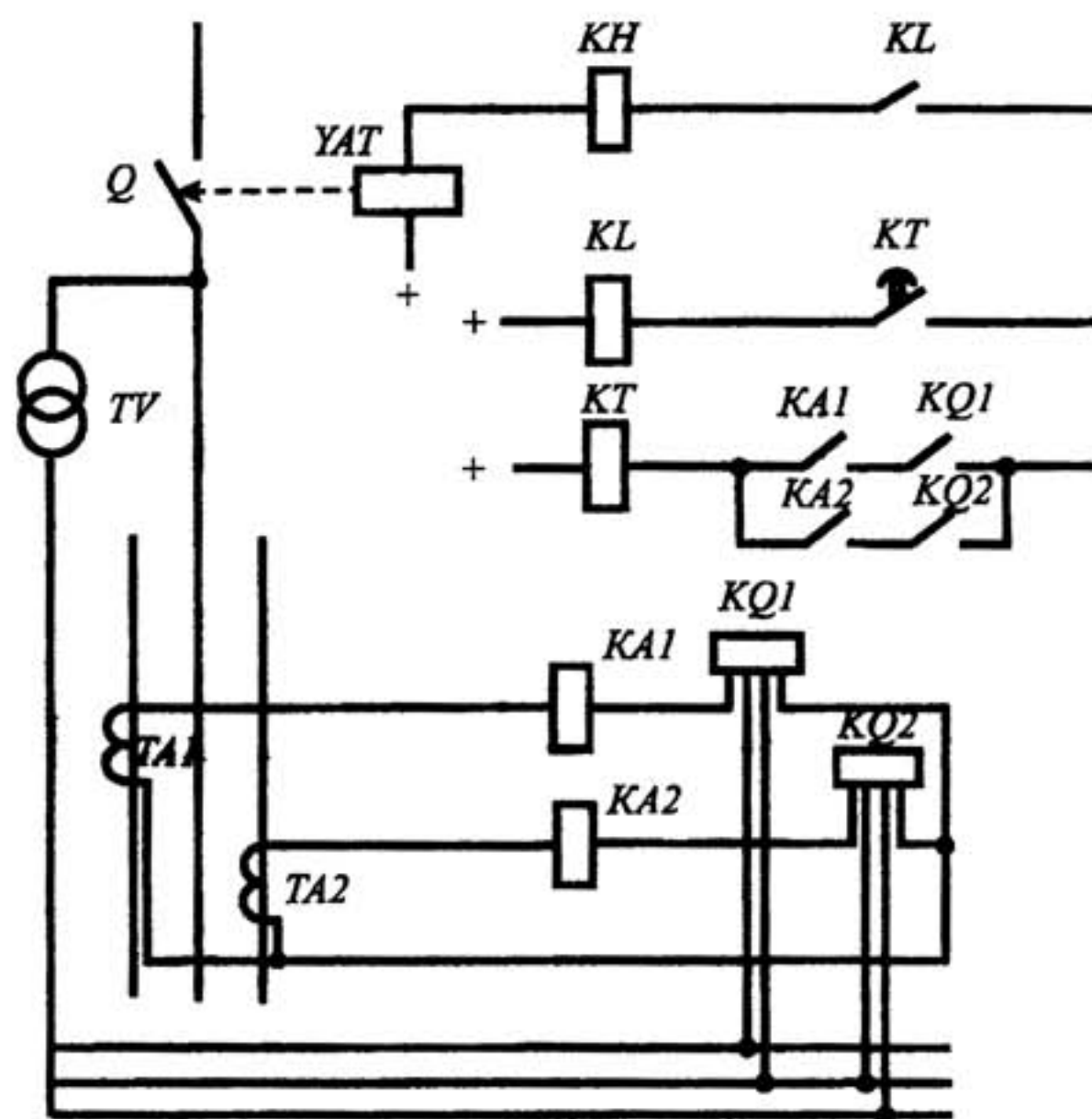


Рис. 6.18. Токовая направленная защита

Для подачи напряжения на реле времени необходимо, чтобы токовые реле $KA1$ или $KA2$ срабатывали одновременно.

Если выдержка времени не требуется, то контакты токовых реле и реле направления мощности устанавливаются в цепь промежуточного реле KL .

6.6. Продольная дифференциальная защита параллельных линий

Питание ГПП обычно осуществляется по двум или трем линиям, которые могут работать раздельно и параллельно. При параллельной работе линий КЗ, например, в точке К2 линия В может вызвать срабатывание защит выключателей Q1, Q2, Q3, Q4 и ГПП будет полностью обесточено, поскольку произойдет отключение не только поврежденной линии В, но и исправной линии А. Продольная дифференциальная защита позволяет селективно отключить поврежденную линию В и оставить в работе исправную линию А.

Продольная дифференциальная защита основана на сравнении токов в начале и в конце защищаемой линии. Трансформаторы тока в начале и в конце каждой линии соединяются последовательно, и к соединительным проводам подключаются параллельно токовые реле КА1 и КА2. Трансформаторы тока должны иметь одинаковые характеристики.

При нормальной работе линии А или при внешних КЗ, например, в точке К1 токи в начале и в конце линии одинаковы и ток в реле будет равен нулю, т.е.

$$I_{(КА1)} = I_1 + I_2 \approx 0. \quad (6.15)$$

Если произойдет КЗ в зоне защиты, например в точке К линии В, то к месту повреждения от источника питания будут протекать токи с двух сторон $I_{КА}$, $I_{КВ}$. Ток в реле тока КА2 линии В будет равен

$$I_{(КА2)} = I_1 + I_2, \quad (6.16)$$

и если он будет больше тока срабатывания реле, защита сработает и подаст импульс на отключение выключателей Q2 и Q4. Линия В будет отключена с двух сторон. Защита является быстродействующей, т.к. для селективного отключения выдержка времени не требуется.

При наличии различий в характеристиках трансформаторов тока по реле будет протекать ток небаланса $I_{НБ}$ при внешних КЗ. Чтобы исключить ложные срабатывания защиты, ток срабатывания реле $I_{С.Р.}$ должен быть больше тока максимального расчетного баланса, т.е.

$$I_{С.Р.} = k_H I_{НБ.РАСЧ.}, \quad (6.17)$$

где $k_H = 1,2; 1,3$ - коэффициент надежности; $I_{НБ.РАСЧ.}$ - максимальный расчетный ток небаланса.

При больших токах небаланса чувствительность защиты снижается.

К недостаткам защиты следует отнести наличие контрольных проводов, которые должны быть проложены вдоль линии. С увеличением

длины линии возрастает стоимость защиты и снижается ее надежность. Считается целесообразным применение данной защиты при длине линии не более 500 м.

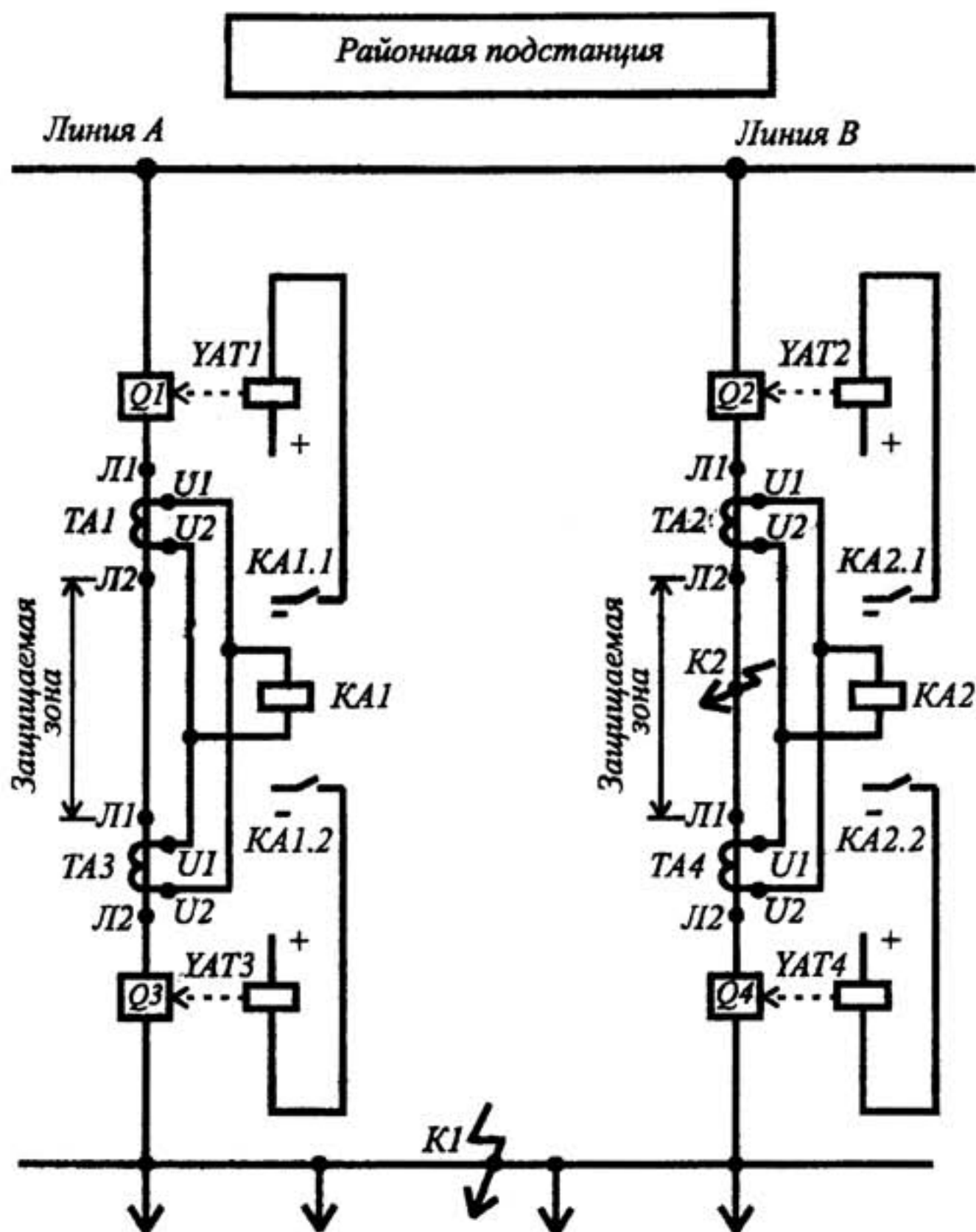


Рис. 6.19. Продольная дифференциальная защита параллельных линий

6.7. Поперечная дифференциальная защита параллельных линий

В поперечной дифференциальной защите параллельно работающим линиям, в отличие от продольной дифференциальной защиты, сравниваются токи не одной линии, а двух параллельных линий, благодаря

чему отпадает необходимость в прокладке контрольного кабеля вдоль линии.

Трансформаторные токи включаются по схеме циркулирующих токов. Для обеспечения селективного действия защиты в нее вводится орган направления мощности. Защита состоит из двух комплектов. Один комплект устанавливается на районной подстанции в начале линий, а другой - в конце защищаемых линий на ГПП.

На рис.6.20 представлена принципиальная электрическая схема поперечной дифференциальной защиты параллельных линий.

При нормальной работе, а также при внешних КЗ через реле $KA1$ и $KA2$ протекает только ток небаланса, на которой защита не реагирует.

$$I_{C.P.} = \frac{k_H}{k_B} I_{H.MAKC}, \quad (6.18)$$

где $k_H = 1,2 \div 1,3$ - коэффициент надежности; $k_B = 0,85$ - коэффициент возврата; $I_{H.MAKC}$ - номинальный ток реле.

При КЗ в зоне защиты, например в точке K , к месту повреждения от источника питания будут протекать токи I_{KA} и I_{KB} . Направления токов во встречных обмотках трансформаторов тока I_{KA1} и I_{KB2} и в реле $KA1$ будет, как показано на рис. 6.20.

Значения токов в токовых реле будут:

- на питающем конце

$$I_{(KA1)} = I_{KA1} - I_{KB2}; \quad (6.19)$$

- на приемной подстанции (на ГПП)

$$I_{(KA2)} = 2 I_{KB4}. \quad (6.20)$$

Если токи $I_{(KA1)}$ и $I_{(KA2)}$ больше токов срабатывания реле, то включаются токовые реле и реле направления мощности $KQ1$ и $KQ3$, которые подадут отключающий импульс на отключение выключателей $Q1$ и $Q3$. Поврежденная линия будет отключена с двух сторон.

При КЗ в линии B направление токов изменяется, включается реле направления мощности $RQ2$ и $KQ4$ и выключатели $Q2$ и $Q4$ отключат поврежденную линию B .

При отключении одной из двух параллельных линий защита уже становится не дифференциальной, а максимально токовой, и будучи мгновенной может неселективно работать при внешних КЗ. Во избежание этого цепь оперативного тока размыкается контактом выключателя и защита выводится из работы.

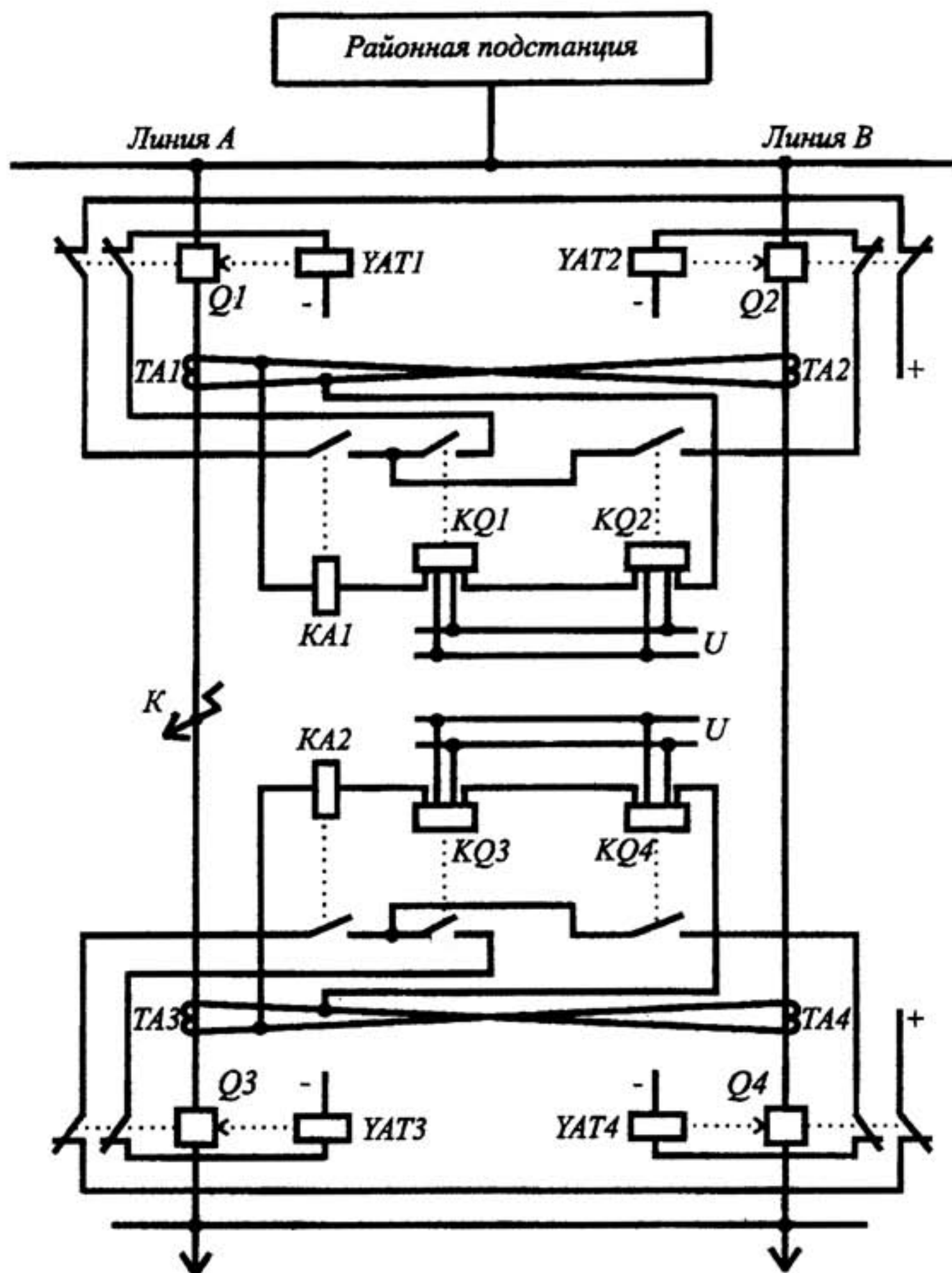


Рис. 6.20. Принципиальная электрическая схема поперечной дифференциальной токовой защиты

На случай работы одной линии устанавливается дополнительная защита, обычно максимально-токовая с выдержкой времени.

Иногда дифференциальная защита может устраиваться только на одной подстанции, например на ГПП, а со стороны районной подстанции может стоять токовая отсечка.

7. ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОТ ПЕРЕГРУЗОК

7.1. Защита при помощи тепловых реле

Тепловые реле предназначены для защиты электрооборудования от перегрузок. Плавкие предохранители и максимальные реле реагируют на величину тока, однако для изоляции обмоток двигателей опасность представляет не величина тока, а температура и длительность ее воздействия.

Из выражения $Q = 0,24I^2rt$ видно, что температура двигателя зависит в основном от квадрата тока и времени его протекания по обмоткам. Значит защита должна реагировать на произведение I^2t . Этому требованию удовлетворяют тепловые реле. В качестве чувствительного элемента в них применяется биметалл - жестко связанные между собой пластины из двух металлов с различными коэффициентами линейного расширения. В тепловом реле ток защищаемого двигателя пропускается либо через специальный нагревательный элемент, либо непосредственно через биметаллическую пластину, а иногда и комбинированно. Принципиальное устройство теплового реле приведено на рис.7.1.

Нагреваясь за счет выделенного током тепла, пластинка 3 изгибается и замыкает контакт реле, который воздействует на отключающую аппаратуру. После срабатывания реле нужно взвести, то есть привести контакт в исходное положение.

Тепловые реле инерционны, поэтому они не реагируют на кратковременные броски тока при пуске двигателей или при коротких замыканиях.

Для защиты от токов КЗ необходимо последовательно с тепловыми реле устанавливать максимальные электромагнитные реле или плавкие предохранители.

Применение теплового реле рационально лишь для двигателей, работающих в длительном режиме. В повторно-кратковременном режиме защита двигателей затруднительна вследствие различия постоянных времени нагрева реле и двигателей.

Тепловые реле характеризуются следующими величинами:

$U_{н.р.}$ - номинальное напряжение реле. Это наибольшее напряжение сети, в которой допускается применение реле;

$I_{н.р.}$ - номинальный ток реле. Наибольший ток, длительное проте-

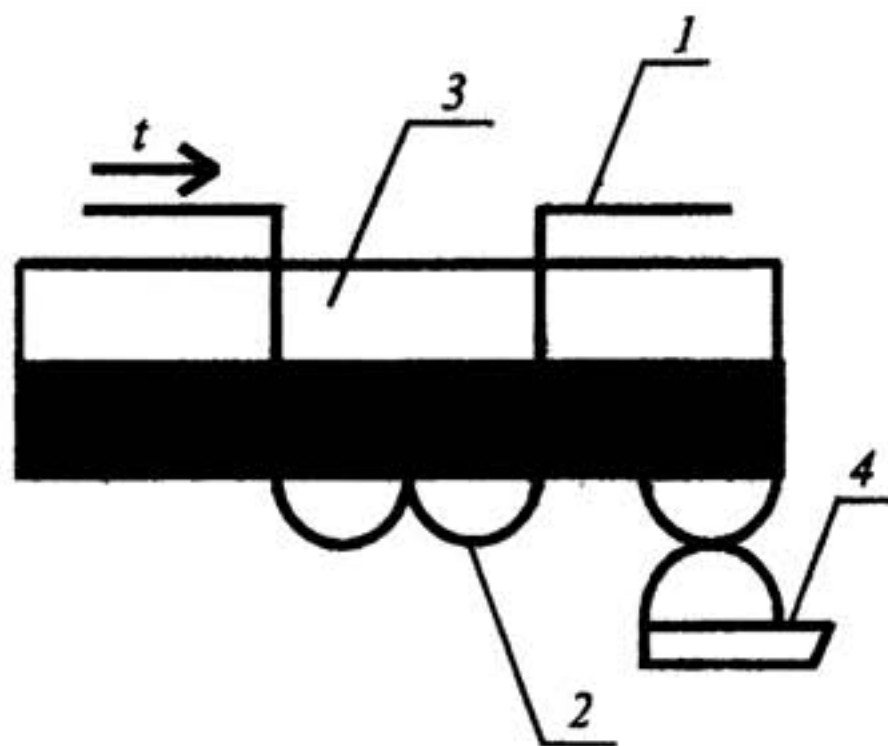


Рис. 7.1. Принципиальная схема теплового реле:

1 - силовая цепь, по которой протекает ток нагрузки защищаемого двигателя; 2 - нагревательный элемент; 3 - биметаллическая пластина с подвижным контактом; 4 - неподвижный контакт

вание которого не вызывает срабатывания реле;

$I_{н. \text{нагрев.}}$ - то же для определенного нагревания;

$I_{н. \text{уст.}}$ - номинальный ток уставки. Наибольший длительный ток, который при данной настройке реле не вызывает его срабатывания.

Время-токовая характеристика теплового реле представлена на рис. 7.2.

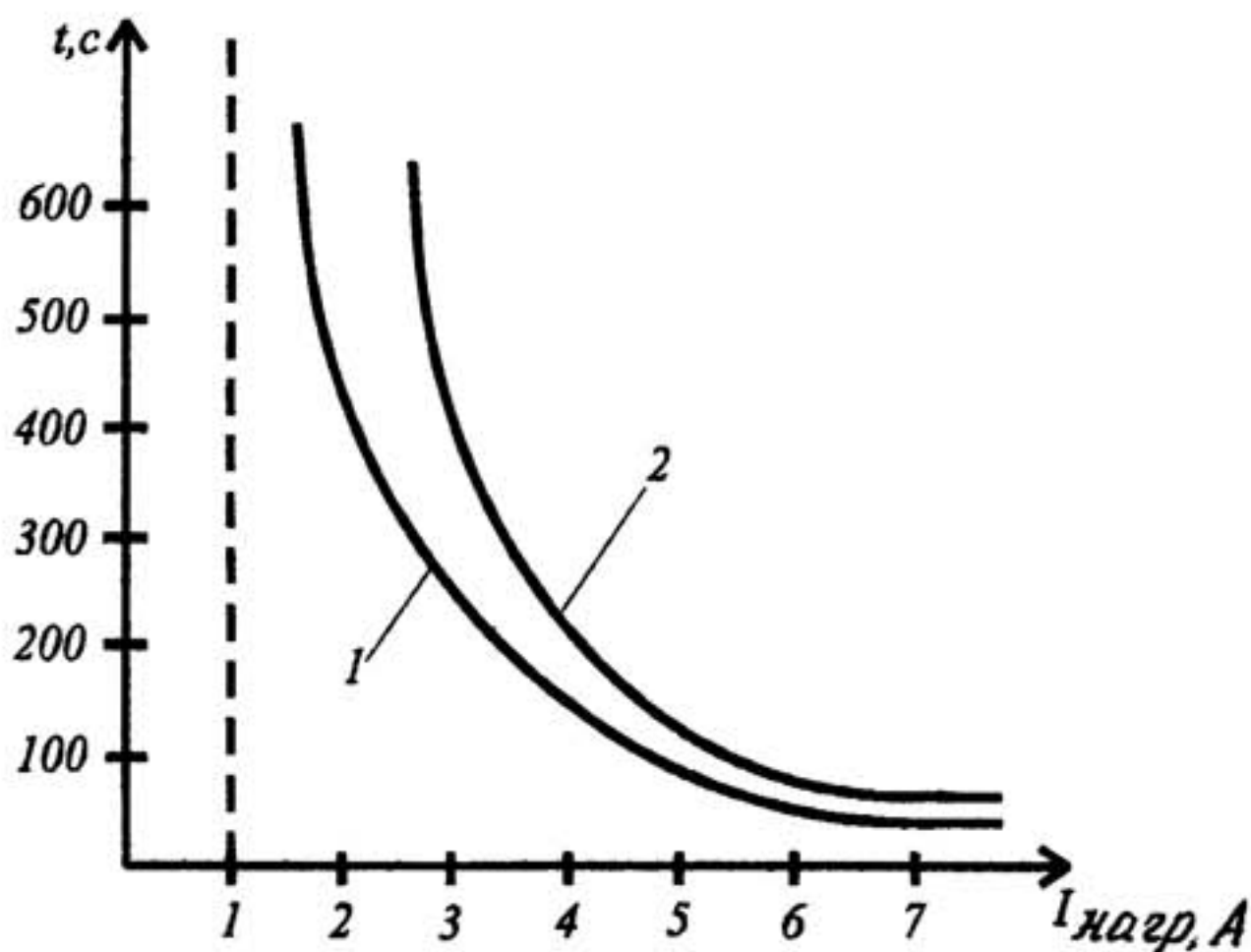


Рис. 7.2. Время - токовая характеристика теплового реле

Кривая 1 показывает нижнюю границу времени срабатывания для предварительно нагретого до рабочей температуры реле, 2- верхняя граница времени срабатывания для холодного реле. Чем больше ток нагрузки, тем время срабатывания реле уменьшается. При перегрузке на 20 % реле срабатывает за 10-20 мин. Время возврата реле не превышает 2-3-х минут.

Выбор уставок реле производится следующим образом.

При длительном режиме работы двигателя и равномерном характере нагрузки тепловое реле, а также сменный нагревательный элемент выбирают исходя из номинального тока двигателя так, чтобы

$$I_{Н.Р.} \geq I_{Н. НАГРЕВ.} \approx I_{Н. ДВ.} \quad (7.1)$$

Следует иметь в виду, что при температуре окружающей среды выше $+35^{\circ}$ допустимая нагрузка двигателя снижается на 1 % на каждый градус превышения температуры. При снижении температуры - наоборот. Кроме того, нужно учесть, что, когда $t_{ОКР} \neq t_{Н. ОКР.}$, то номинальный ток нагревателя должен быть приведен к действительной температуре окружающей среды по формуле

$$I_{Н. НАГР.} \approx I_{Н. НАГРЕВ.} \left(1 - \frac{\delta}{100} \frac{t_{ОКР} - t_{Н. ОКР.}}{10} \right), \quad (7.2)$$

где δ - изменение температуры тока нагревателя на каждые 10° С разницы температуры, %.

Тепловая защита осуществляется с помощью тепловых реле серий НРП, ТРН, ТРА, ТРБ и др., устанавливаемых внутри корпусов пускателей и автоматических выключателей. При токе $I_{ПУСК} = 7 I_{НОМ}$ (пуск двигателя с короткозамкнутым ротором) реле отключает автоматический выключатель через 10 с; при $I_{ПУСК} = 1,5 I_{НОМ}$ - через 3 мин. Таким образом, тепловое реле не реагирует на кратковременные и неопасные толчки тока при пуске двигателей.

Недостатки тепловых реле

Тепловые реле, установленные в коммуникационных аппаратах, косвенно контролируют перегрузку электродвигателей.

Тепловое реле и электродвигатель могут работать в разных температурных условиях, что приводит к ложным срабатываниям или несрабатываниям защиты.

При изменении температурных условий окружающей среды тре-

буется перестройка реле.

Тепловые реле не защищают от токов короткого замыкания вследствие значительной инерционности.

Постоянные времени нагрева электродвигателей и реле разные, поэтому могут происходить ложные срабатывания защиты.

7.2. Температурная защита

Температурная защита предназначена для защиты электродвигателей от тепловой перегрузки и является наиболее совершенным видом тепловой защиты. Она контролирует непосредственно степень нагрева обмоток двигателя. В качестве регулирующего органа температурной защиты применяются специальные датчики с биметаллической пластинкой (рис.7.3,а) или с термосопротивлением (рис.7.4,а), которые встраиваются непосредственно в обмотки электродвигателей.

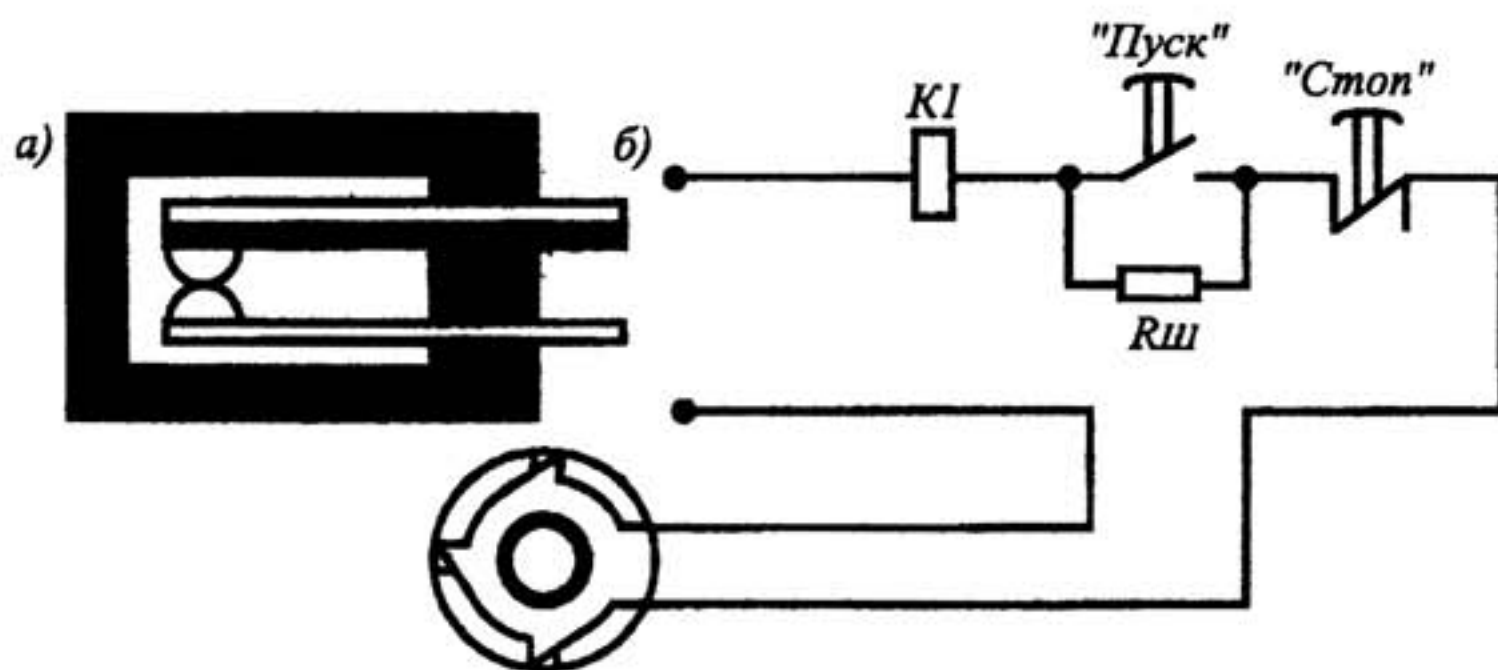


Рис. 7.3. Устройство температурной защиты с применением датчика с биметаллической пластиной: а - устройство температурного датчика; б - принципиальная схема подключения датчиков

На рис.7.4,б представлена схема подключения датчиков, встроенных в обмотки двигателей, в цепь управления пускателя. При превышении температуры сверх допустимого значения датчики размыкают свои нормально замкнутые контакты, катушка контактора $K1$ обесточивается и пускатель отключает двигатель. Когда температура двигателя понизится вследствие естественного охлаждения, произойдет замыкание

контактов датчиков и можно включить двигатель в работу. Однако поскольку постоянная времени охлаждения двигателей довольно значительна, то охлаждение может длиться весьма продолжительное время, что является недостатком данной защиты. Недостатком этой защиты является их большая тепловая инерция. При резких перегрузках двигателя, обмотки нагреваются гораздо раньше, чем датчики.

Термосопротивления с релейным эффектом обладают способностью резко (скачком) уменьшать свое омическое сопротивление, если температура превышает пороговое значение. Термосопротивление 1, помещенное в ампулу 2, встраивается в обмотки двигателя (рис. 7.4).

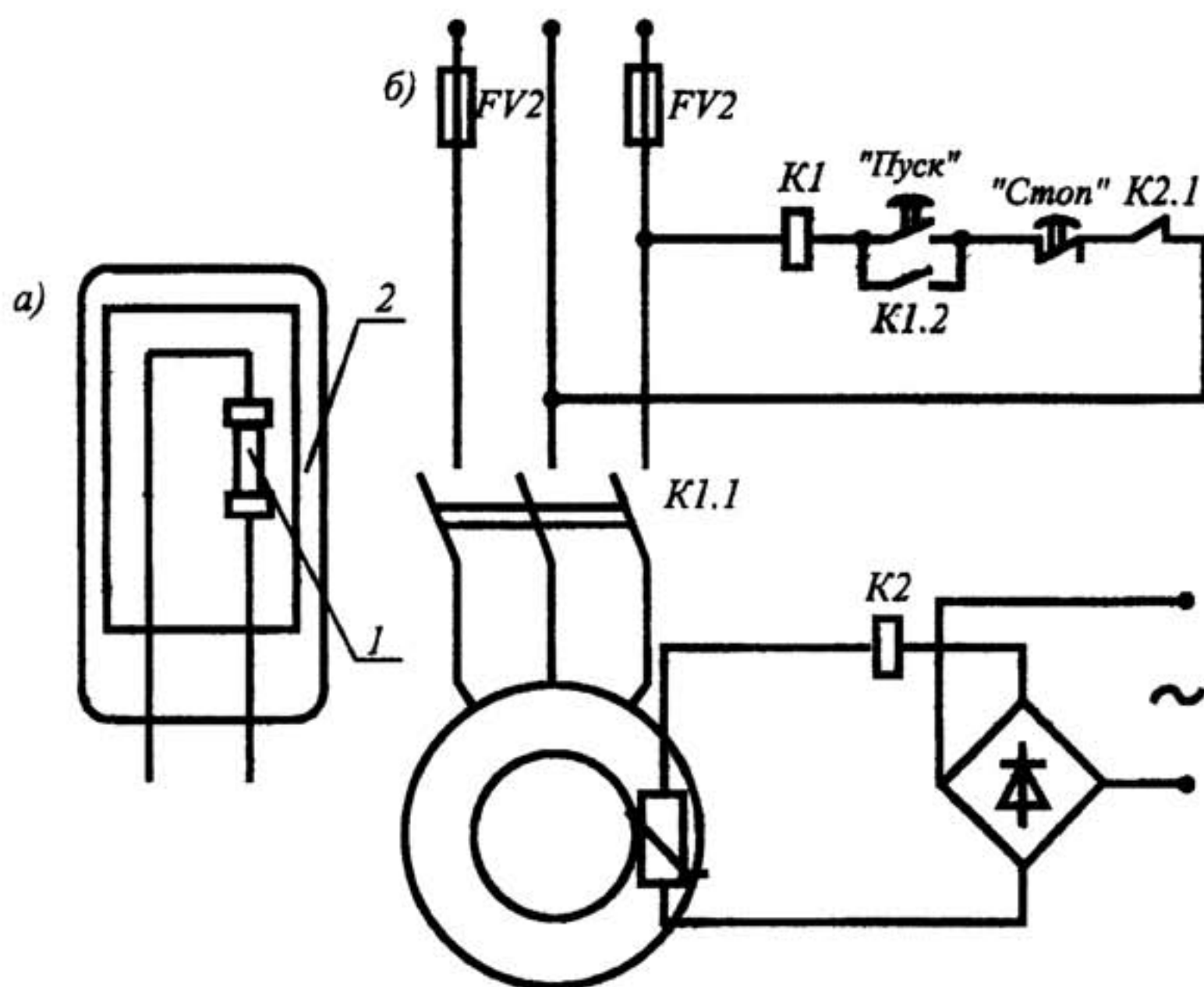


Рис. 7.4. Устройство температурной защиты с применением термосопротивлений: а - устройство датчика с термосопротивлением; б - принципиальная схема подключения температурной защиты в цепь управления пускателем

При нормальной температуре двигателя сопротивление в цепи реле $K2$ велико, а через него протекает незначительный ток. Контакт реле $K2$ замкнут в цепи управления пускателем. При нагреве двигателя контакт $K2.1$ размыкается и двигатель отключается.

7.3. Температурная защита при помощи датчиков температуры ДТР-3М

Для защиты от недопустимого нагрева обмоток комбайновых и конвейерных электродвигателей, электродвигателей вспомогательных механизмов, трансформаторной подстанции ТСВП-630/6-1,2 используют разработанные ВНИИВЭ датчики-реле температуры ДТР-3м и ДТР-3м-УТ, реагирующие как на изменение температуры, так и на скорость ее нарастания.

Техническая характеристика датчиков-реле температуры ДТР-3м и ДТР-3м-УТ

Напряжение коммутируемой цепи, В	6-36
Номинальный коммутируемый ток, А:	
при переменном напряжении 36 В, частоте 50 Гц	0,6-0,8
при напряжении постоянного тока 36 В и	
постоянной времени $\leq 0,05$ с	0,2
Уставки срабатывания, °С.....	125; 140; 165; 180
Габаритные размеры, мм	12x12x37
Масса (без выводных концов), г.....	80

Датчик-реле температуры ДТР-3м-УТ (рис. 7.5) состоит из тепло-стойкого пластмассового корпуса 1, теплопроводящей крышки 2 с упругой пластиной 3 и термобиметаллической пластиной 4, контактной группы 5, в состав которой входят термобиметаллические пластины 6 и 7 с контактами 8 и 9 и бронзовая пластина 10, а также винтов 12, 13 и 14. Винт 13 предназначен для регулирования установки срабатывания термодатчика, винт 14 - для исключения размыкания контактов 8 и 9 при отрицательных температурах, а винт 12 - для регулирования чувствительности термодатчика к скорости роста температуры. Датчик поставляется настроенным на одну из указанных в характеристике уставок срабатывания температуры. Температура настройки указана на табличке. В собранном виде по всей поверхности датчика наносится слой эпоксидного компаунда, благодаря чему датчик выдерживает испытательное напряжение 4 кВ.

Датчик устанавливают на обмотке таким образом, что теплопроводящая крышка 2 находится в непосредственном тепловом контакте с изоляцией.

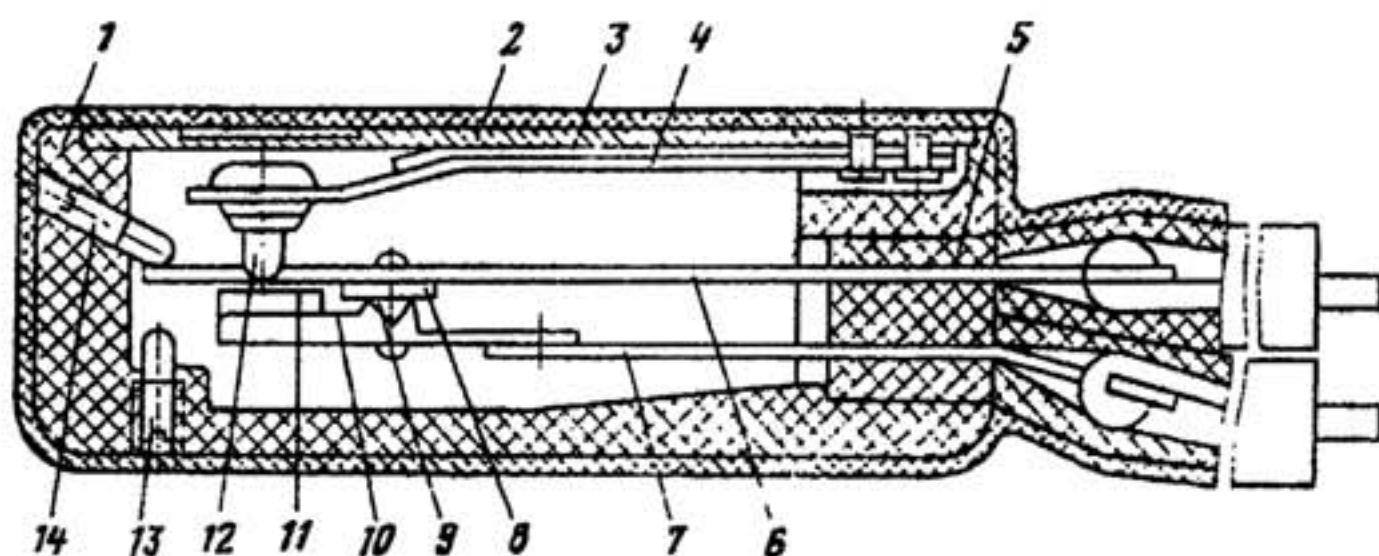


Рис. 7.5. Датчик-реле температуры ДТР-Зм-УТ

Такое расположение датчика и теплоизоляционный материал корпуса создают благоприятные условия для направленного движения теплового потока от обмотки через крышку 2 к термобиметаллическим пластинам, изгибающимся при нагреве в одну сторону.

Датчик-реле температуры ДТР-Зм отличается от рассмотренного ДТР-Зм-УТ тем, что в нем отсутствует дополнительная упругая пластина 3 из материала высокой теплопроводности, которая служит для улучшения теплообмена. Защита обмотки электродвигателя в различных режимах осуществляется следующим образом. При перегрузках до $2I_{ном}$ скорость роста температуры в обмотке не превышает $(0,3-0,5 \text{ } ^\circ\text{C})/\text{с}$ и температурный перепад между термобиметаллическими пластинами 4 и 6 незначителен, поэтому они почти одинаково изгибаются в сторону регулировочного винта 13. При достижении температуры обмотки уставкой срабатывания датчика движение пластины 6 останавливается регулировочным винтом 13 и под действием пластины 4 с винтом 12 происходит размыкание контактов датчика; электродвигатель отключается от сети.

В режиме КЗ электродвигателя, когда по обмотке проходит пусковой ток, скорость роста температуры в обмотке резко возрастает. Между термобиметаллическими пластинами 4 и 6 возникает большой температурный перепад. Пластина 4 находится в непосредственном тепловом контакте с крышкой 2, вследствие чего она изгибается в большей степени, чем пластина 6. Поэтому размыкание контактов происходит при воздействии на изоляционную прокладку 11 винта 12 до момента стопорения пластины 4 винтом 13.

7.4. Защита от перегрузки при помощи блока ТЗП

Блок ТЗП (токовая защита от перегрузок) служит для защиты рудничных электродвигателей и кабелей от токовых перегрузок.

Технические характеристики блока ТЗП

Напряжение питания, В	36
Кратность установки	$0,5 \div 1,0$
Потребляемая мощность, В-А	< 2
Степень защиты	IP 40
Габаритные размеры, мм	120x64x140
Масса, кг	$< 0,6$

Блок имеет защитную характеристику, обеспечивающую: несрабатывание в течение < 5 с при перегрузках $6I_{ном}$ защищаемого объекта; срабатывание в течение < 6 с при перегрузке $1,2 I_{ном}$ защищаемого объекта в холодном состоянии.

Исполнительный орган блока имеет переключающий контакт, рассчитанный на коммутацию постоянного тока 0,3 и 2 А в цепи напряжением соответственно до 110 и 30 В. Блок совместно с датчиками тока обеспечивает отключение электродвигателя в случае возникновения токовых перегрузок. В качестве датчиков тока в схеме защиты от перегрузки используются трансформаторы тока типа ТТЗ. Электрическая схема (рис. 7.6) состоит из измерительной и исполнительной частей.

Измерительная часть схемы питается от трансформаторов тока через трехфазный однополупериодный выпрямитель на диодах $VD1 - VD3$, а исполнительная часть - от источника напряжения 36 В через контакты 8 и 10 штепсельного разъема. Измерительная часть схемы включает делители напряжения из резисторов $R2 - R3$ и $R5 - R6$, активно-емкостные контуры $R7 - C3$ и $R8 - C2$, собирательную схему «ИЛИ» из диодов $VD4$ и $VD5$.

Исполнительная часть выполнена на основе порогового устройства на однопереходных транзисторах $VT1$ и $VT2$, тиристора $VS1$, исполнительного реле $K1.1$ и выпрямителя $VC8 - VC11$. При подаче питания на схему и работе электродвигателя в номинальном режиме напряжение со вторичных обмоток трансформаторов тока поступает на выпрямитель и после выпрямления подается на делители напряжения $R2 - R3$ и $R5 - R6$.

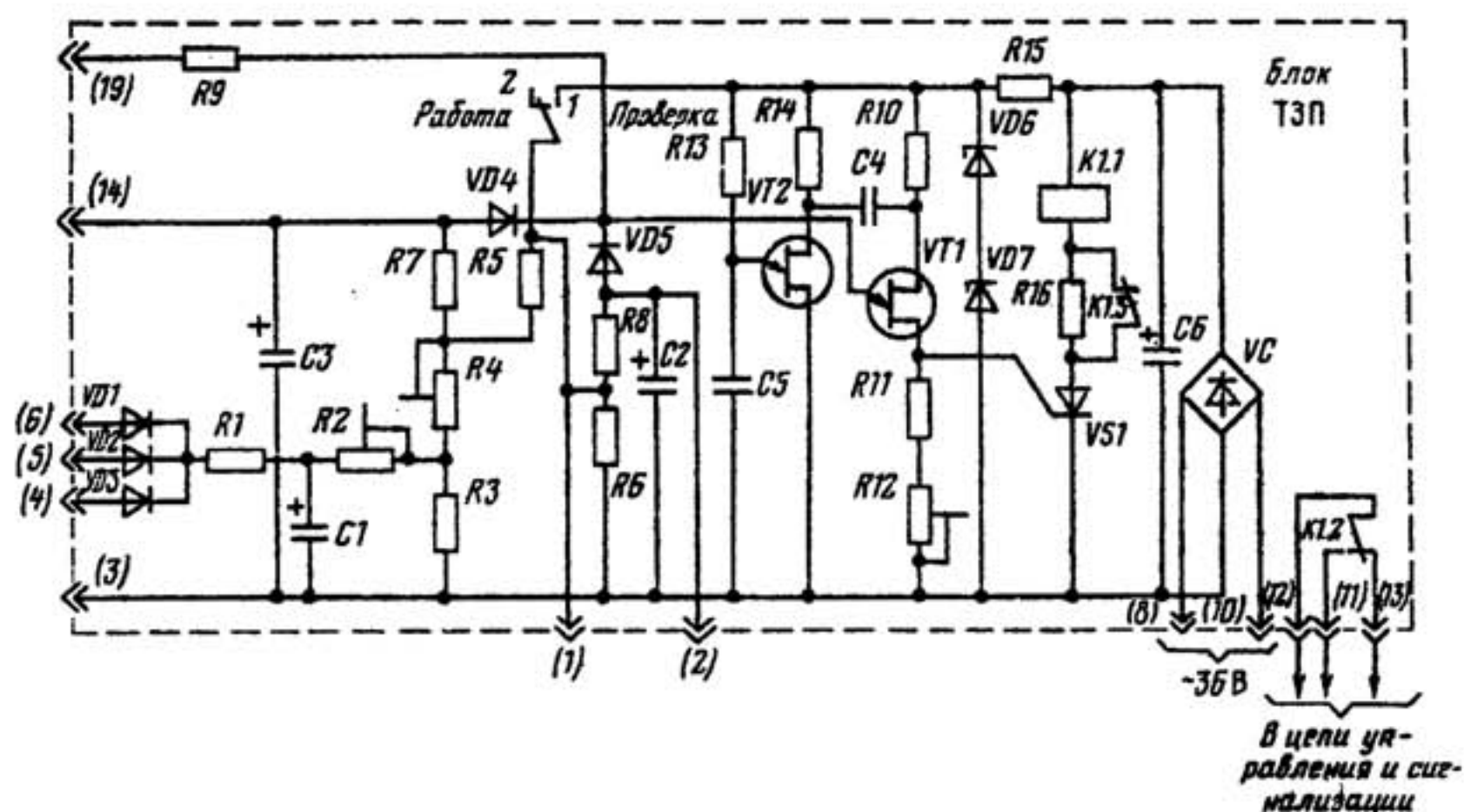


Рис.7.6. Принципиальная электрическая схема блока ТЗП

Происходит заряд емкостей $C2'$ и $C3$. Если двигатель работает без перегрузки, то напряжение на полностью заряженной емкости недостаточно для открывания ключа $VT1$ исполнительного органа. По мере увеличения нагрузки происходит дальнейший заряд емкостей. При этом, когда напряжение на одной из емкостей достигает величины напряжения срабатывания ключа (на $C2$ - при опрокидывании или затянувшемся пуске электродвигателя, на $C3$ - при перегрузках $>1,1-1,2I_{ном}$), транзистор $VT1$ переключается и подает импульс на управляющий электрод тиристора $VS1$, в анодную цепь которого включено исполнительное реле $K1.1$. Стабилизация порога срабатывания ключа осуществляется релаксационным генератором, выполненным на однопереходном транзисторе $VT2$. При срабатывании реле $K1.1$ своими контактами воздействует на цепи управления и сигнализации аппарата. Время достижения напряжения срабатывания ключа зависит от кратности перегрузки электродвигателя.

Работу устройства проверяют переключением тумблера в положение «Проверка». При этом напряжение на измерительную часть схемы подается от источника напряжения 36 В. Установка уставок срабатывания осуществляется с помощью резистора $R4$. Для нормального функционирования схемы при колебаниях на-

пряжения введена стабилизация напряжения с помощью стабилитронов $VD6$, $VD7$ и резистора $R15$.

7.5. Защита от перегрузки при помощи реле РТ - 40

Реле косвенного действия РТ- 40 совместно с реле времени РВ - 142 осуществляют защиту от перегрузки с независимой выдержкой времени высоковольтного ЭО.

Реле РТ - 40 (рис. 7.7) имеет два диапазона уставок. Один диапазон соответствует последовательному, а второй параллельному соединению обмоток (табл. 7.1).

РНИ устройств защиты от перегрузок следует производить в соответствии с указаниями, изложенными в разделе и дополнительно руководствоваться следующим:

а) при осмотре и регулировке механической части реле проверить

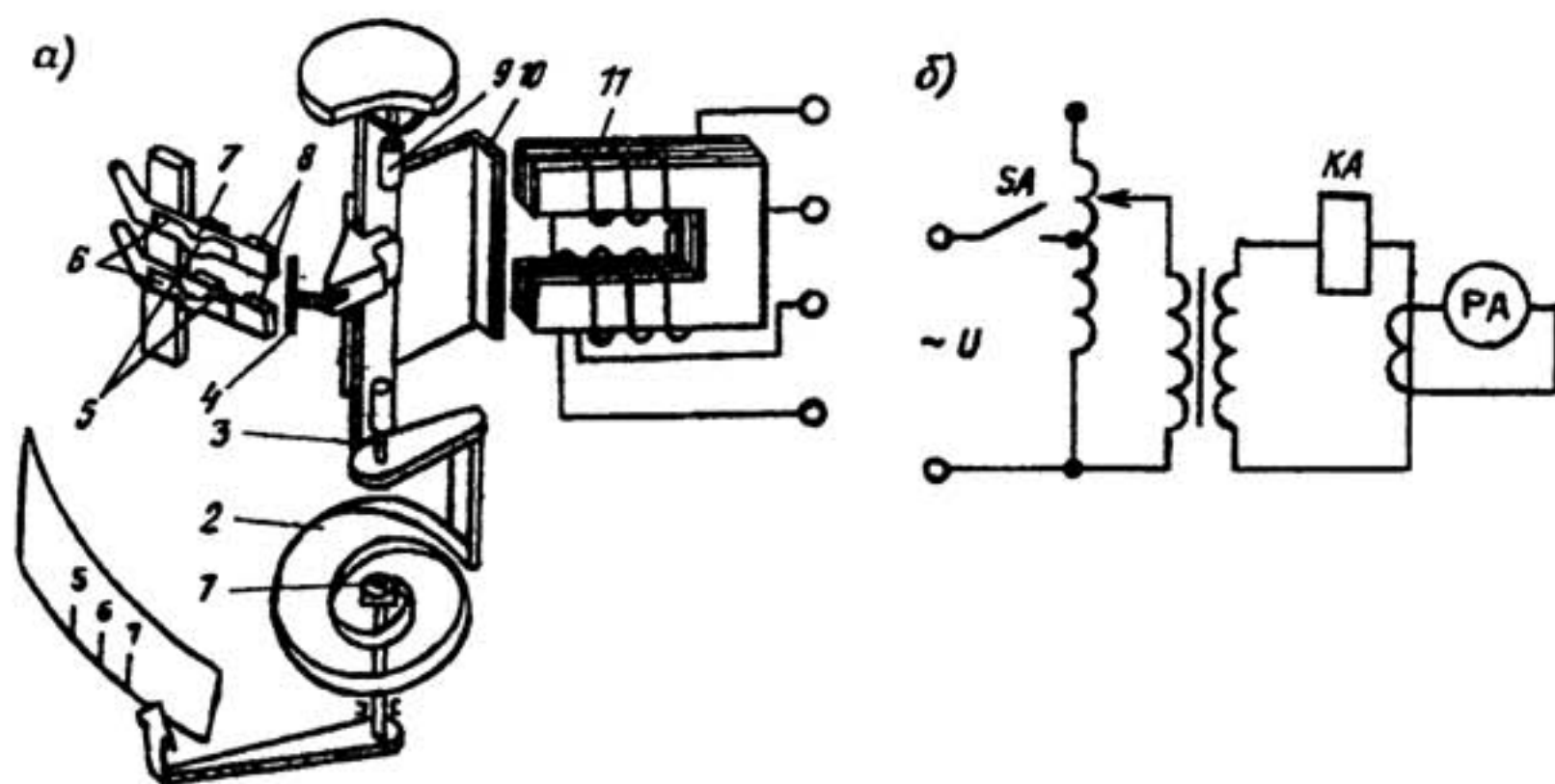


Рис. 7.7. Реле тока РТ - 40: а - конструкция; б - схема проверки

надежность паяк и креплений всех узлов и деталей. Неподвижные контакты 7 реле крепят, затягивая гайки и одновременно удерживая соответствующие винты 6 отверткой. Ось якоря 10 для предотвращения заедания должна иметь продольный люфт 0,2-0,3 мм, регулируемый изменением положения верхней цапфы 9. Зазоры между якорем 10, на-

ходящемся в притяннутом положении, и полюсами магнитопровода 11 регулируют, перемещая магнитопровод. Они должны быть одинаковы и равны 0,4 - 0,7 мм.

Подвижный контактный мостик 4 должен свободно, без заметного трения поворачиваться на оси 3. Контактные пластины 8 неподвижного контакта 7 должны располагаться в одной плоскости, иметь одинаковый изгиб и замыкаться неподвижным контактным мостиком одновременно. Раствор между неподвижным и подвижным контактами должен быть 2-2,5 мм.

При срабатывании реле подвижный контактный мостик должен коснуться пластин неподвижного контакта в точке, отстоящей от их переднего края на 1-1,5 мм, скользить по ним не менее 1-1,5 мм и остановиться не доходя 1,5 - 2 мм от заднего края этих пластин.

Установка реле времени защиты от перегрузки должна быть несколько дольше фактического времени пуска двигателя. С завода защита поступает с установкой 20 с.

Таблица 7.1

Технические данные реле РТ - 40

Тип реле	Уставки (А) на диапазонах		Число витков	Диаметр провода, мм
	I (последовательное соединение обмоток)	II (параллельное соединение обмоток)		
РТ - 40/2	0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0	1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0	75	1,16
РТ - 40/6	1,5; 1,8; 2,1; 2,4; 2,7; 3,0	3,0; 3,6; 4,2; 4,8; 5,4; 6,0	25	2,02
РТ - 40/10	2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0	5,0; 5,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0	15	2,2

8. ЗАЩИТЫ ОТ ПОНИЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

8.1. Нулевая защита

Нулевая защита предназначена для защиты обслуживающего персонала от электрических и механических травм при исчезновении на-

пряжения на электрооборудовании и внезапном его появлении вновь. При внезапном появлении напряжения на электрооборудовании может произойти самозапуск электродвигателей и рабочих машин, которые могут травмировать людей, занятых их ремонтом или осмотром.

Приведем пример, как это может произойти. На рис. 8.1 приведена схема питания электродвигателя насосной установки через ручной пускатель П, не имеющий нулевой защиты.

Электрослесарь, придя на смену, запустил насосную установку ручным пускателем и отлучился для выполнения каких-то других дел. В это время отключился общесетевой автоматический выключатель 1ЦГ и напряжение в сети, в том числе на зажимах двигателя М, исчезло. Двигатель и насосная установка остановились, однако ручной пускатель остался включенным. Другой слесарь, подойдя к насосу и считая, что установка выключена пускателем, начал ее ремонтировать. В это время в схему подается напряжение. Произойдет самозапуск электродвигателя, и травма неизбежна.

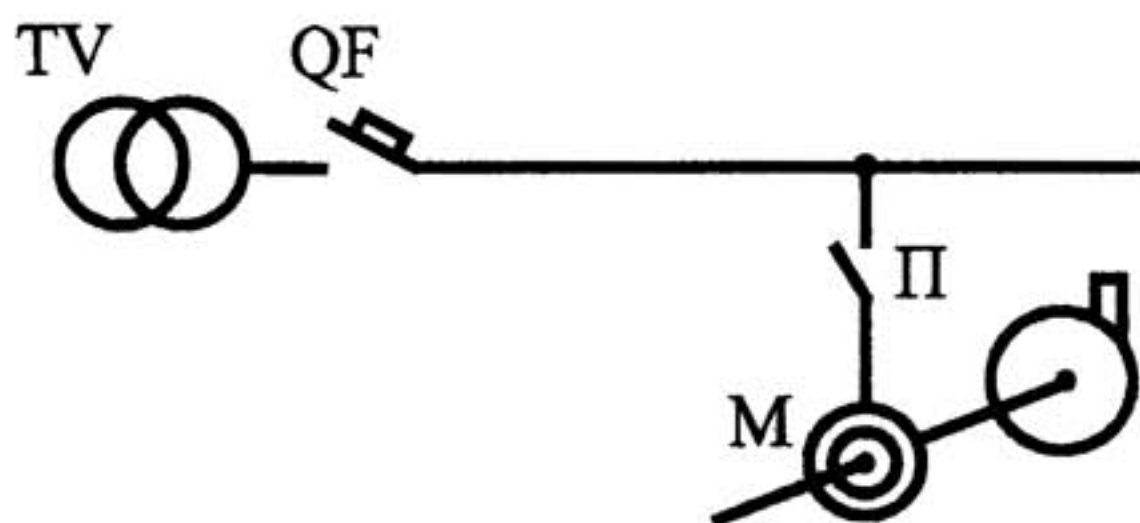


Рис. 8.1. Схема питания электроустановки без нулевой защиты

Назначение нулевой защиты - предотвратить самозапуск при подаче напряжения в сеть. Магнитные пускатели, в первую очередь, предназначены для осуществления нулевой защиты. Нулевая защита в шахтных магнитных пускателях выполняется в основном двумя способами:

а) при помощи контакта, шунтирующего кнопку SBC (рис.8.2,а).

Контактор КМ пускателя отпадает при исчезновении напряжения и размыкает контакт, шунтирующий кнопку.

При появлении напряжения самовыключение пускателя не произойдет, так как кнопки «ход» и «контакт» К1 в схеме управления разомкнуты.

Для того чтобы подать напряжение на двигатель, нужно нажать кнопку «пуск»;

б) сопротивлением, шунтирующим кнопку «ход» (рис.8.2,б).

Сопротивление $R_{ш}$ подбирается таким образом, чтобы реле РН не включалось при отпущенной кнопке «ход». После включения реле путем нажатия кнопки «ход» тока, протекающего через сопротивление, должно

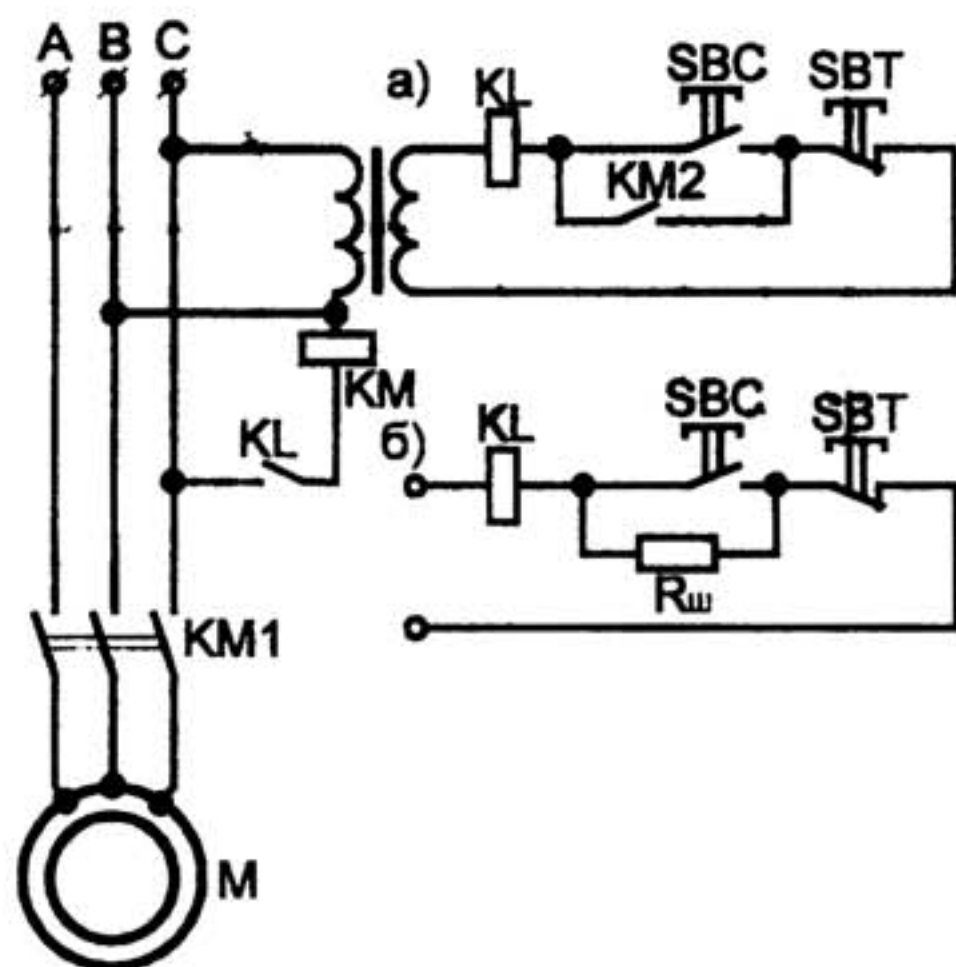


Рис. 8.2. Устройство нулевой защиты: а - при помощи контакта контактора; б - при помощи шунтирующего сопротивления

быть достаточно для удержания реле в притянутом состоянии. При применении шунтирующего сопротивления управление пускателем осуществляется только по двум проводам. Однако эта схема может приводить к самовключению пускателя при повышении напряжения в сети. В схемах управления с командоконтролером (обычно для двигателей с фазным ротором) нулевая защита выполняется с помощью специального реле нулевой защиты РН (рис.8.3).

В исходном положении рукоятки командоконтролера КК катушка реле Н-1 обтекается током и контакт РН замкнут. При переводе командоконтролера в любое рабочее положение контакт КК размыкается, катушка ЕН и вся остальная аппаратура получает питание только через контакт РН. Когда напряжение в сети исчезает, реле РН размыкает свой контакт. Повторное включение возможно только при постановке командоконтролера в исходное положение.

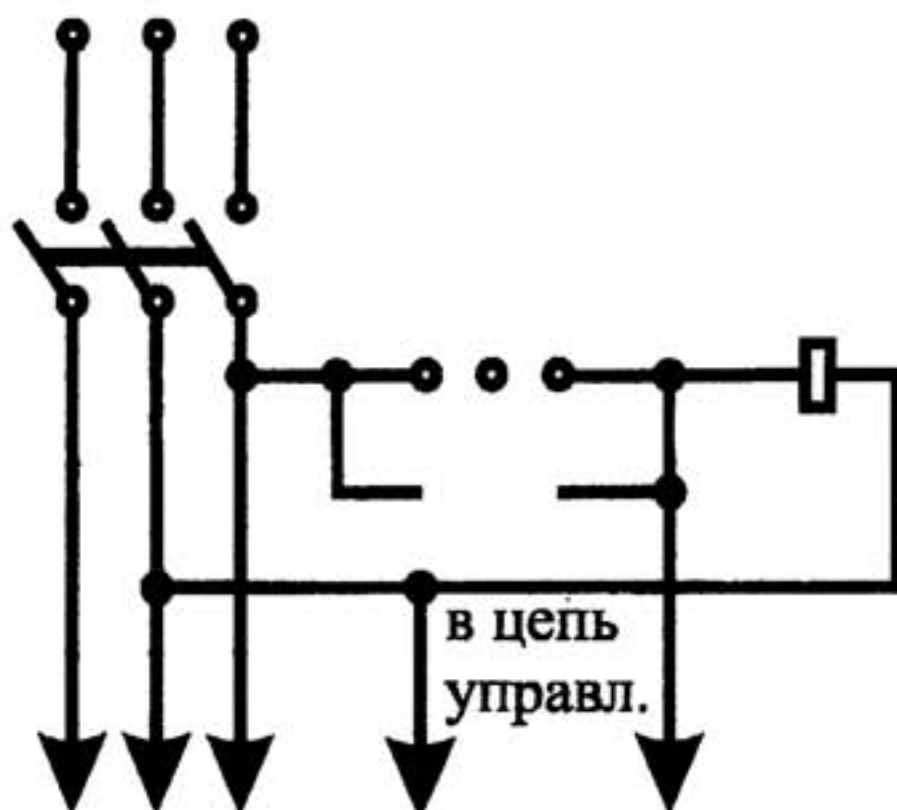


Рис. 8.3. Устройство нулевой защиты в командоконтролерах

8.2. Минимальная защита

Эта защита предназначена для предохранения электроустановок от перегрузки при снижении напряжения до значения $(0,64 \div 0,7)U_n$.

Если при эксплуатации электроустановок напряжение в сети понизится по каким-либо причинам до значений, указанных выше, а электродвигатели будут иметь нагрузку, близкую к номинальной, то это вызовет потребление двигателями тока выше номинального значения, что может быть причиной выхода их из строя. Это хорошо видно из формулы $P_{\partial в} = \sqrt{3}IU \cos \varphi$, где $P_{\partial в}$ - мощность на валу двигателя, которая остается одинаковой до и после снижения напряжения; U - напряжение на зажимах двигателя; I - ток, потребляемый двигателем, увеличивается при уменьшении напряжения с целью сохранения мощности на валу; $\cos \varphi$ - коэффициент мощности.

Минимальная защита осуществляется за счет применения специальных реле минимальной защиты, отключающих электроустановки при недопустимом снижении напряжения. В магнитных пускателях минимальная защита осуществляется самим контактором, который отпадает при снижении напряжения до значений $(0,64 \div 0,7)U_n$.

9. ЗАЩИТА ОТ ОБРЫВА ФАЗ

Одним из опасных режимов является работа асинхронных двигателей на 2-х фазах. Двигатель, оказавшийся без одной фазы при работе с полной нагрузкой, опрокидывается, при этом потребляет пусковой ток или, продолжая вращаться, потребляет большой рабочий ток, греется и через некоторое время выходит из строя. Причины двухфазного режима - обрыв проводов, слабый контакт, перегорание плавкого предохранителя и т.д. Наиболее действительным мероприятием, направленным на защиту от двухфазного режима, будет хороший профилактический осмотр и ремонт кабельных и воздушных линий, контактов коммутационной аппаратуры, правильный выбор плавких вставок. В некоторых случаях полезно плавкие вставки заменить максимальными реле или фидерными автоматами.

Однако в наиболее ответственных случаях необходимо устанавливать специальную защиту. Все известные защиты от обрыва фаз можно разделить на три группы:

а) схемы, основанные на контроле исправности плавких вставок (рис. 9.1). Катушки реле $PO\Phi 1$ и $PO\Phi 2$ шунтируют плавкие вставки.

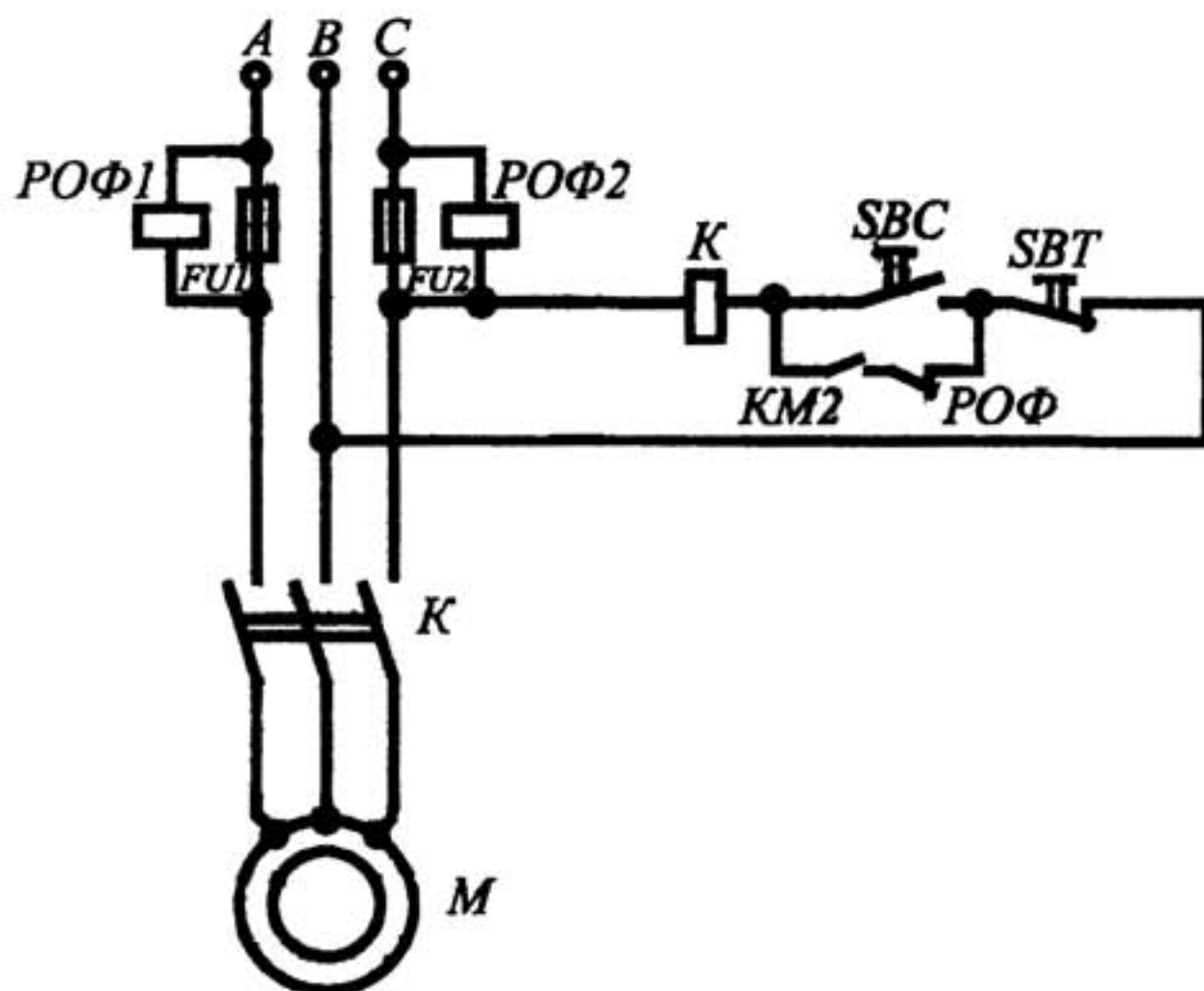


Рис. 9.1. Защита от обрыва фаз, контролирующая состояние плавких вставок

При перегорании плавкой вставки реле срабатывает и размыкает контакт К в цепи управления пускателя. В качестве реле может применяться любое промежуточное реле с $U_H = (0,3-0,4) U_L$. Если двухфазный режим не является причиной перегорания плавкой вставки, то защита не срабатывает;

б) схемы, реагирующие на нарушение симметрии трехфазной системы напряжений на зажимах двигателя (рис. 9.2).

В сетях с заземленной нейтралью, когда нулевая точка обмоток статора не выведена или обмотки соединены в треугольник, образуется искусственная нулевая точка "0". Между этой точкой и землей включается

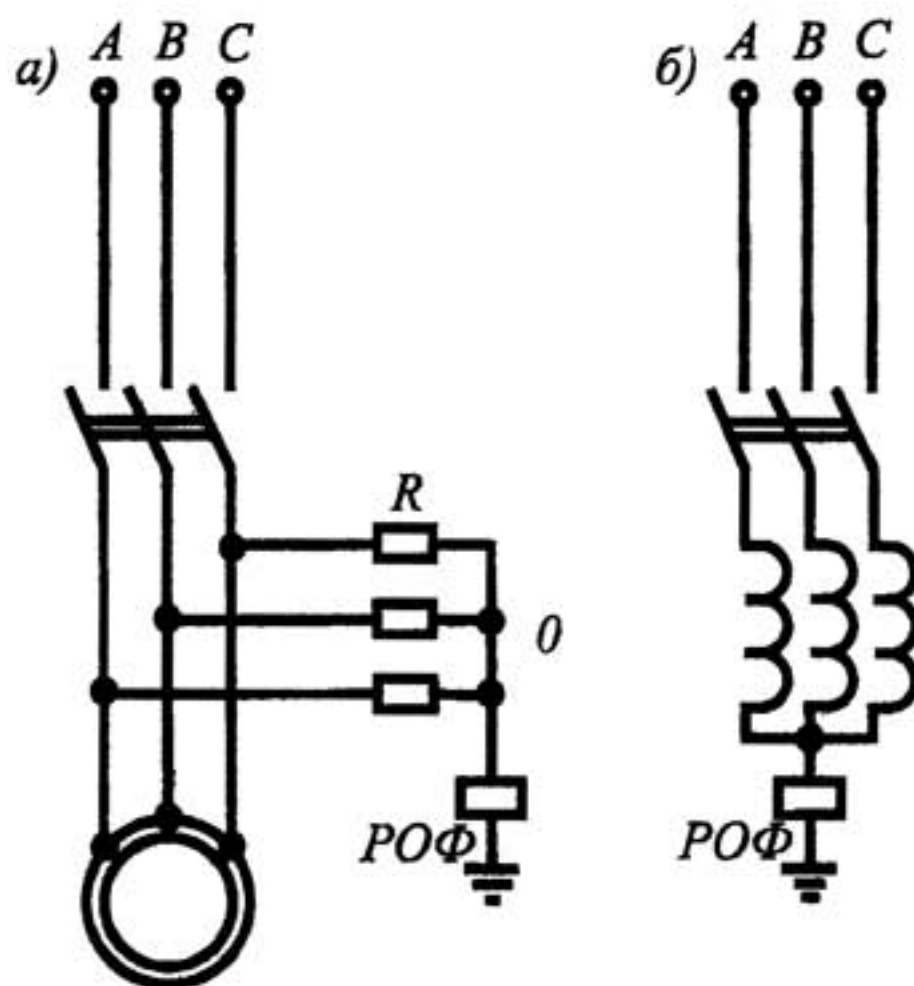


Рис. 9.2. Защита от обрыва фаз в сетях с заземленной нейтралью: а - с искусственной нулевой точкой; б - с естественной нулевой точкой

ется реле РОФ. В нормальном режиме напряжение на катушке реле мало. Оно обусловлено естественной несимметрией междуфазных напряжений, которая допускается не более 5%. При обрыве одной из фаз напряжение на реле резко увеличивается. Реле срабатывает и отключает двигатель;

в) схемы, действующие при возникновении несимметрии фазных токов (рис.9.3).

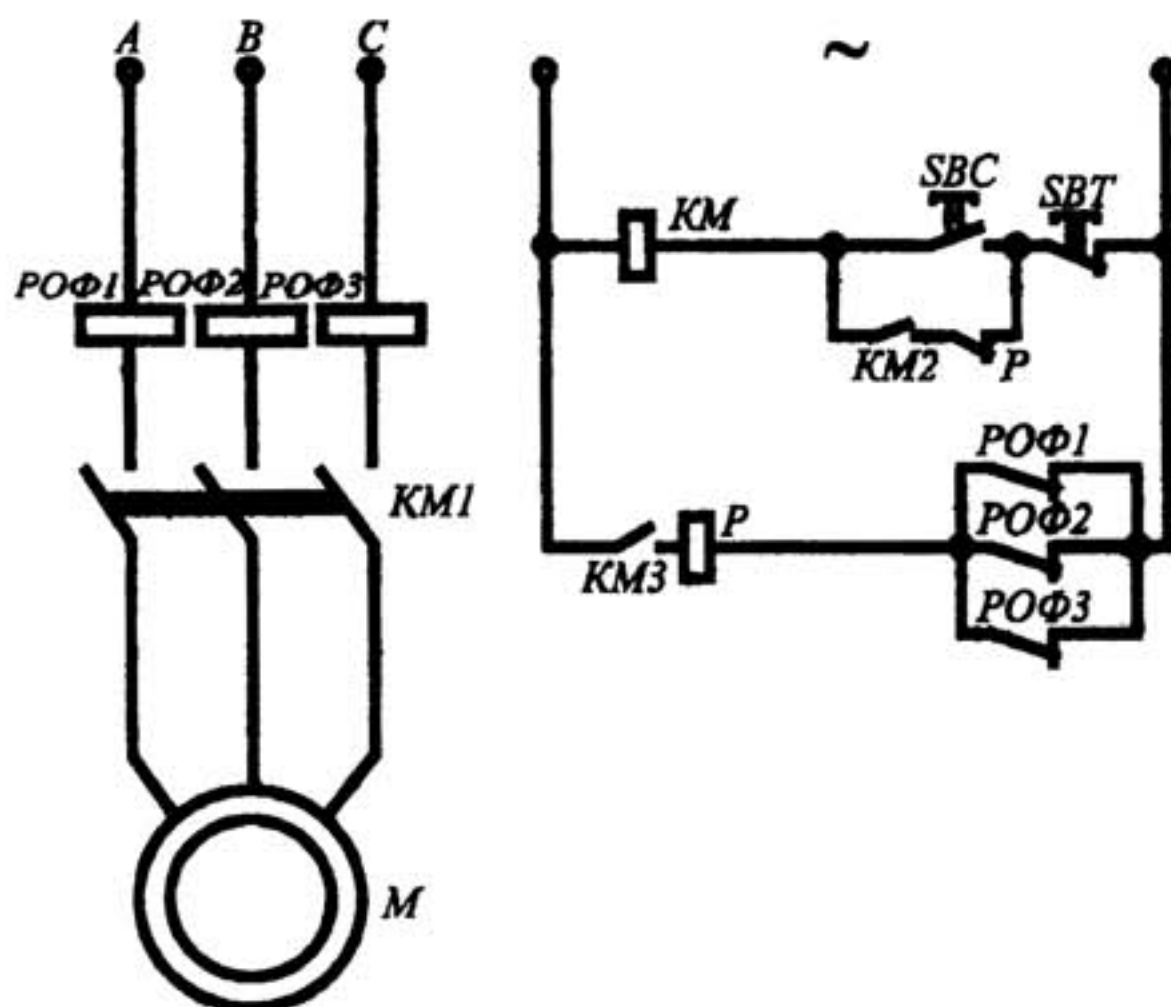


Рис. 9.3. Защита от обрыва фаз, выполненная при помощи токовых реле

При обрыве одной из фаз ток в фазе исчезает, токовое реле этой фазы отключается и замыкает свой контакт в цепи реле времени РВ, которое с выдержкой времени отключает контакт РВ1 в цепи управления пускателем. Наиболее современной защитой от работы на двух фазах является фильтровая защита, которая также реагирует и на другие аварийные режимы.

9.1. Фильтровая защита

Фильтровая защита осуществляет целый комплекс защит при различных видах повреждений в электрических сетях. Защита реагирует на различные виды коротких замыканий, на опрокидывание двигателя, на обрыв любой из фаз витковые замыкания в двигателе и даже на проседание ротора двигателя, которое происходит при износе подшипников.

Принцип работы фильтровой защиты основан на выделении при помощи фильтра напряжения обратной последовательности, которое появляется при любом асимметричном режиме, возникающем почти во всех аварийных случаях.

При несимметричных повреждениях в двигателях или сети возникают токи и напряжения обратной последовательности, которые выде-

ляются при помощи специальных фильтров. Если величина обратной последовательности напряжения достигает определенного значения, то защита срабатывает и отключает пускатель. Вопрос о реагировании защиты на симметричные короткие замыкания и опрокидывание двигателей решается применением разнонасыщенных трансформаторов.

На рис.9.4, а представлена принципиальная электрическая схема фильтровой защиты.

В схему фильтровой защиты входит активно-емкостный фильтр токов обратной последовательности (R_C, R_A, C_A), два трансформатора с различной степенью насыщения (TTA, TTC), автотрансформатор TV , выпрямительный мост $VD1$, поляризованное двухобмоточное реле KV (OP - рабочая обмотка; OT - тормозная обмотка. Обмотки включены встречно), электролитический конденсатор C , шунтирующий селеновый выпрямитель $VD2$.

При нормальном режиме работы двигателя или сети напряжение на выходе фильтра, равное сумме векторов напряжений двух плечей, приблизительно будет равно нулю. Достигнуто это таким подбором величин R_A, R_C и C_A , что векторы напряжений U_C и U_A равны по величине и противоположны по направлению. В этом случае защита бездействует (рис. 9.4,б). При появлении несимметричного повреждения в двигателе или сети токи обратной последовательности вызывают небаланс напряжений на выходе фильтра, благодаря чему защита срабатывает (рис. 9.4,в).

Векторные диаграммы хорошо иллюстрируют срабатывание защиты и в случае обрыва фаз. При обрыве фазы A трансформатор тока TTA бездействует, напряжение на выходе фильтра становится равным напряжению U_C (рис. 9.4,г). При обрыве фазы C суммарное напряжение на выходе фильтра будет состоять только из напряжения U_A (рис. 9.4, д). В случае обрыва фазы B , в которой нет трансформатора тока, на выходе фильтра появляется напряжение, равное сумме векторов U_A и U_C (рис. 9.4, е).

Реле KV подключено к фильтру через автотрансформатор и выпрямитель. Назначение автотрансформатора - регулирование тока срабатывания реле при работе с двигателями различной мощности. Реле имеет две обмотки: рабочую OP и тормозную OT . Для осуществления зависимой от величины тока выдержки времени в тормозную обмотку реле включен электролитический конденсатор большой емкости. Общий магнитный поток в реле зависит от разности в рабочей и тормозной обмотках. После зарядки конденсатора ток в тормозной обмотке от-

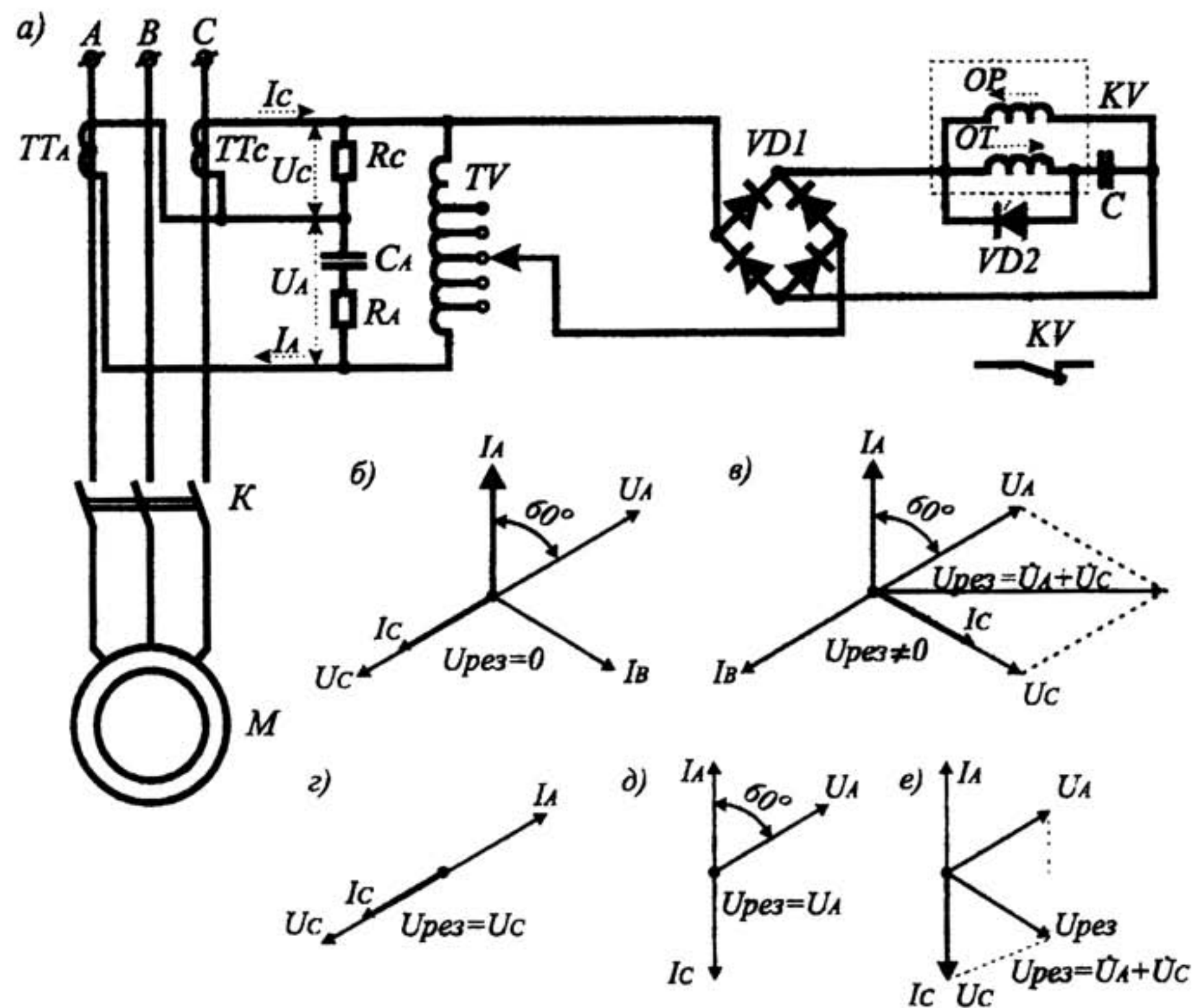


Рис. 9.4. Принципиальная электрическая схема фильтровой защиты и векторные диаграммы при различных режимах

существует. Когда разность ампер-витков достигает величины ампер-витков срабатывания реле KV , последнее срабатывает и выключает пускатель. Так как время зарядки конденсатора пропорционально величине протекающего через него тока, то при повреждениях, связанных с появлением небольших токов обратной последовательности, защита срабатывает с выдержкой времени. При коротких замыканиях реле срабатывает мгновенно благодаря наличию токовой отсечки, осуществляемой селеновым выпрямителем $VD2$, который шунтирует тормозную обмотку реле. При коротких замыканиях напряжение на реле повышается настолько, что сопротивление селеновых элементов резко падает. Это приводит к мгновенной зарядке конденсатора и к быстрому срабатыванию защиты.

Чтобы защита реагировала и на симметричные повреждения, трансформаторы тока выполняются с различной степенью насыщения железа. Благодаря этому при больших токах трехфазных коротких замыканий вольтамперные характеристики трансформаторов имеют некоторое расхождение, достаточное для срабатывания защиты.

Несмотря на универсальность и высокую чувствительность, фильтровая защита не нашла широкого применения в низковольтных сетях, так как требует высокой культуры обслуживания электрооборудования. В настоящее время фильтровая защита в основном используется для защиты ответственных электроустановок в виде аппарата АФЗ.

10. ЗАЩИТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЦЕПЯХ УПРАВЛЕНИЯ КОММУТАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ

10.1. Защита и контроль непрерывности цепи заземления

Передвижные электроприемники шахт, такие как двигатели добычных и проходческих комбайнов, врубовых машин, электросверл и т.д., не имеют местного заземлителя, а присоединяются (заземляются) только через специальную заземляющую жилу кабеля к общешахтной заземляющей сети. При обрыве заземляющей жилы возникает опасность поражения людей.

В целях контроля исправности заземляющей жилы последнюю включают в цепь управления магнитным пускателем (рис. 10.1).

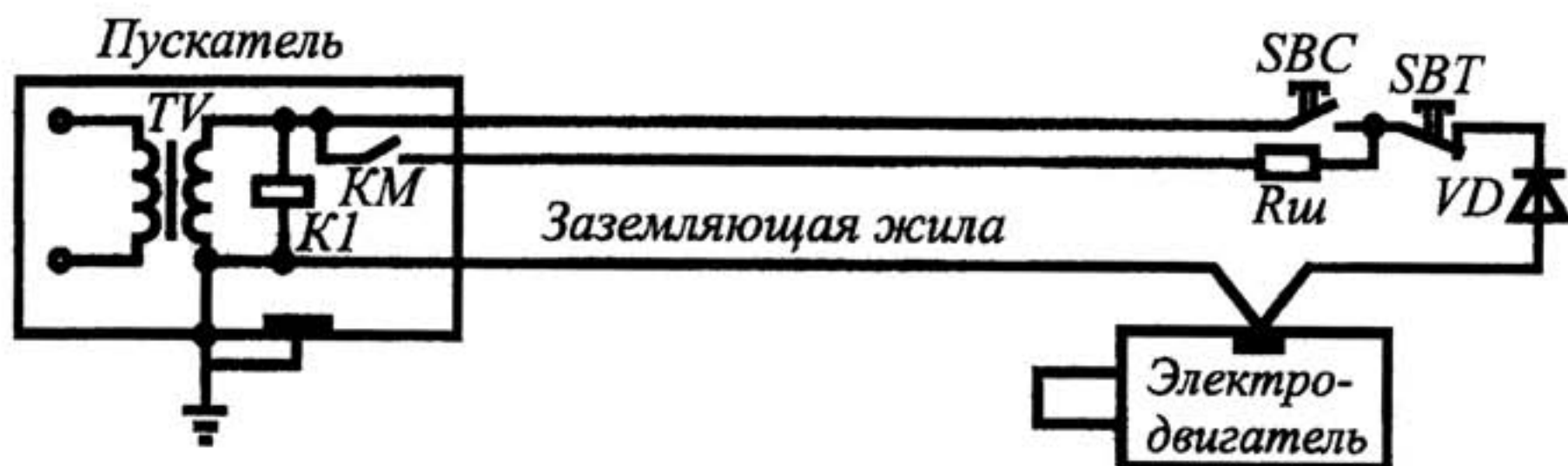


Рис.10.1. Контроль непрерывности цепи заземления передвижных механизмов

При увеличении сопротивления цепи заземления до 150 Ом (для пускателей на 380-660 В) или до 10 Ом (для пускателей на 1140 В) или в случае обрыва происходит отключение пускателя.

ПБ запрещают в шахтах включать заземляющую жилу в цепь управления с искроопасными параметрами.

Для осуществления данного вида защиты требуется кабель с тремя силовыми жилами: одна заземляющая и две вспомогательные жилы.

10.2. Защита от потери управляемости

Этот вид защиты применяется для пускателей с дистанционными цепями управления и предназначен для предотвращения самовключения электрооборудования при замыкании в цепях управления.

На рис.10.2 представлена схема дистанционного управления без защиты от потери управляемости.



Рис.10.2. Схема управления пускателя без защиты от потери управляемости

Поскольку пускатель может быть соединен с дистанционным кнопочным постом ДКП посредством гибкого кабеля, не обладающим достаточной механической прочностью, то случайное его повреждение рабочими машинами вызывает в нем замыкание между жилами или обрыв отдельных жил.

Обрыв жил управления не приводит к тяжелым последствиям кроме простоя оборудования. Однако замыкание жил управления может привести к очень тяжелым последствиям, связанным с внезапным самовключением электрооборудования и рабочих машин.

При замыкании жил 1-3 (пускатель был выключен) происходит самовключение, кнопкой «стоп» отключить невозможно.

При замыкании жил 1-2 также происходит самовключение, но

кнопкой «стоп» можно выключить пускатель и необходимо ее расклинить до снятия напряжения.

При замыкании жил 2-3 самовключение не происходит, но отключение кнопкой «стоп» невозможно.

Рудничные пускатели серии ПВИ в настоящее время имеют защиту от потери управления, выполненную согласно схеме, представленной на рис.10.3.

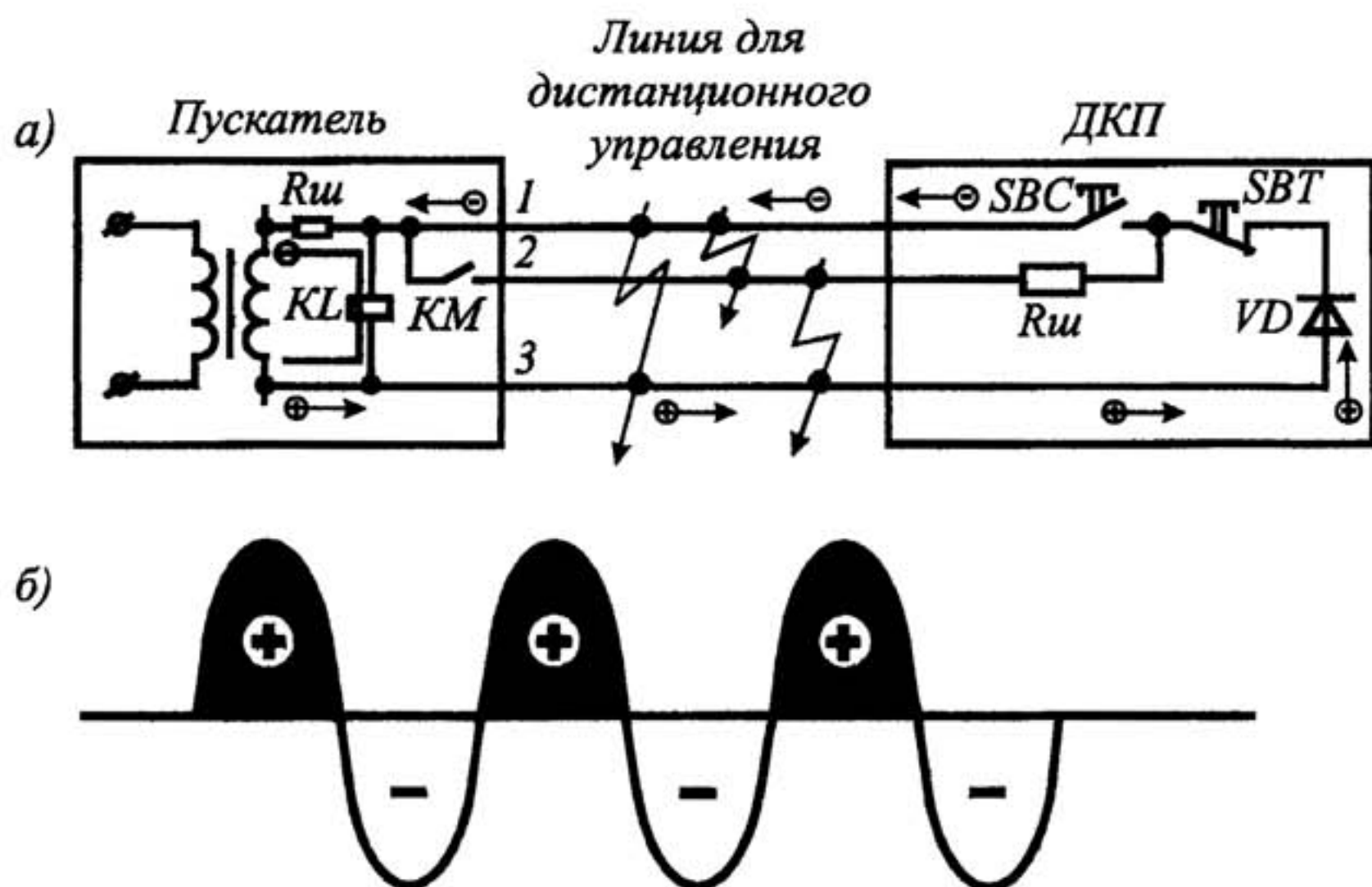


Рис. 10.3. Схема управления с защитой от потери управляемости, применяемая в пускателях ПВИ

Несмотря на то, что реле $РП$ подключено в схеме параллельно трансформатору $ТР$, то есть всегда находится под напряжением переменного тока, однако оно не срабатывает, так как индуктивное сопротивление очень велико, переменный ток, проходящий через реле, мал.

$$\approx I_P = \frac{\approx U}{\sqrt{R_P + X_P}}, \quad (10.1)$$

где R_P и X_P - активное и индуктивное сопротивление реле.

При нажатии кнопки «ход» реле шунтируется выпрямителем B , который встраивается в дистанционный кнопочный пост. Положительная

короткозамкнутая полуволна переменного тока идет через выпрямитель, минуя реле. Отрицательная полуволна проходит через реле. В результате через реле будет протекать постоянный ток (рис.10.3,б), для которого индуктивного сопротивления не существует, то есть

$$I = \frac{U}{R_p}. \quad (10.2)$$

Ток через реле увеличивается, и последнее срабатывает. Это принцип работы схемы.

При замыкании между жилами 1-3 реле не может самовключиться, однако, если замкнутся жилы 1-2, то опять произойдет самовключение. Для предотвращения этого явления в кнопочный пост должно быть встроено сопротивление $R_{ш} = 40 \text{ Ом}$, которое обеспечит защиту от потери управляемости при замыкании жил 1-2.

Любой аварийный режим в данной схеме, обрыв или замыкание приведут к выключению реле и пускателя.

10.3. Защита от самовключения пускателя при повышении напряжения в сети

Если в схеме, представленной на рис.10.3, повысится по каким-либо причинам напряжение, то может реле $РП$ сработать и самопроизвольно включит пускатель.

В целях предотвращения данного явления подобные схемы управления пускателей запитываются от стабилизатора напряжения $ОТ$ (рис. 10.4).

Стабилизатор поддерживает стабильное напряжение 18 В при изменении напряжения в силовой сети до 150%, тем самым предотвращает самовключение реле $РП$.

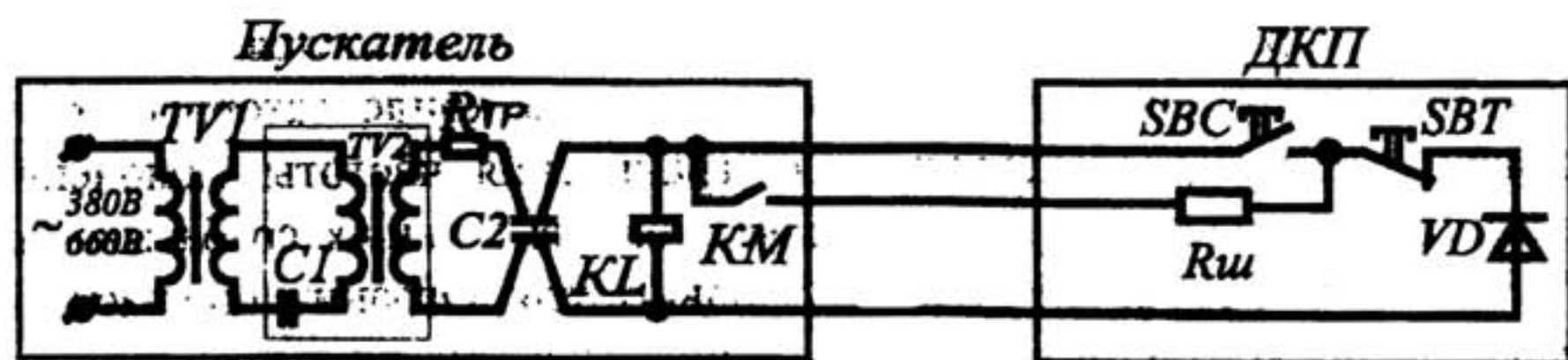


Рис. 10.4. Схема управления с защитой от самовключения пускателя вследствие повышения напряжения

10.4. Электрическая блокировка пускателей от утечки на землю

Нарушение изоляции на электроустановках может привести к возникновению КЗ, травматизму обслуживающего персонала или к нарушению электроснабжения участка при срабатывании реле-утечки. Возникновение утечки на ответвлении пускателя затрудняет поиск места повреждения изоляции, часто приводит к значительному простоем оборудования, что резко снижает производительность труда на участке.

В целях облегчения поиска места повреждения изоляции и сокращения простоя оборудования в пускатели типа *ПБИ* встраиваются блокировочные реле утечки *БРУ*.

В настоящее время в эксплуатации находится два вида блокировочных реле утечки. *БРУ* института ВНИИВЭ и *БРУ-2С* на триодах института КузНИУИ.

На рис.10.5 представлена принципиальная электрическая схема пускателя с блокировочным реле утечки типа *БРУ*.

Выпрямительный мост *В1* получает питание от обмотки стабилизатора *Ст*. Минус моста присоединяется к корпусу аппарата и фактически связан с землей, плюс - через реле *БРУ*, контакты *РВ1*, *К2*, кнопку «проверка», присоединяется к фазе пускателя, то есть к изоляции ответвления пускателя и двигателя приложено напряжение моста *В1*.

При включенном пускателе *БРУ* бездействует, так как контакт контактора *К2* разрывает цепь. Если в это время происходит повреждение изоляции, например на двигателе, то срабатывает общеучастковое реле утечки и снимает напряжение со всей сети. При последующей подаче напряжения на схему срабатывает *БРУ* в пускателе, которое разомкнет свой контакт *БРУ1* в цепи управления и контакт *БРУ2* в цепи сигнальной лампы *ЛБ*. Включить пускатель будет невозможно до тех пор, пока не будет улучшено состояние изоляции на ответвлении.

Блоки управления пускателей, которые комплектуются с блокировочными реле утечки типа *БРУ*, оборудуются конденсаторным реле времени *РВ*, предназначенным для ограничения частоты включения контакторной системы пускателя и устранения ложных срабатываний *БРУ* от влияния обратной ЭДС электродвигателя. Ограничение частоты срабатывания контактора пускателя осуществляется шунтирующей цепочкой, в которой находятся контакты *К4* и *РВ2*, а устранение ложных срабатываний *БРУ* – контактом *РВ1*.

При включении контактора его контакт *К1* замыкает цепь питания

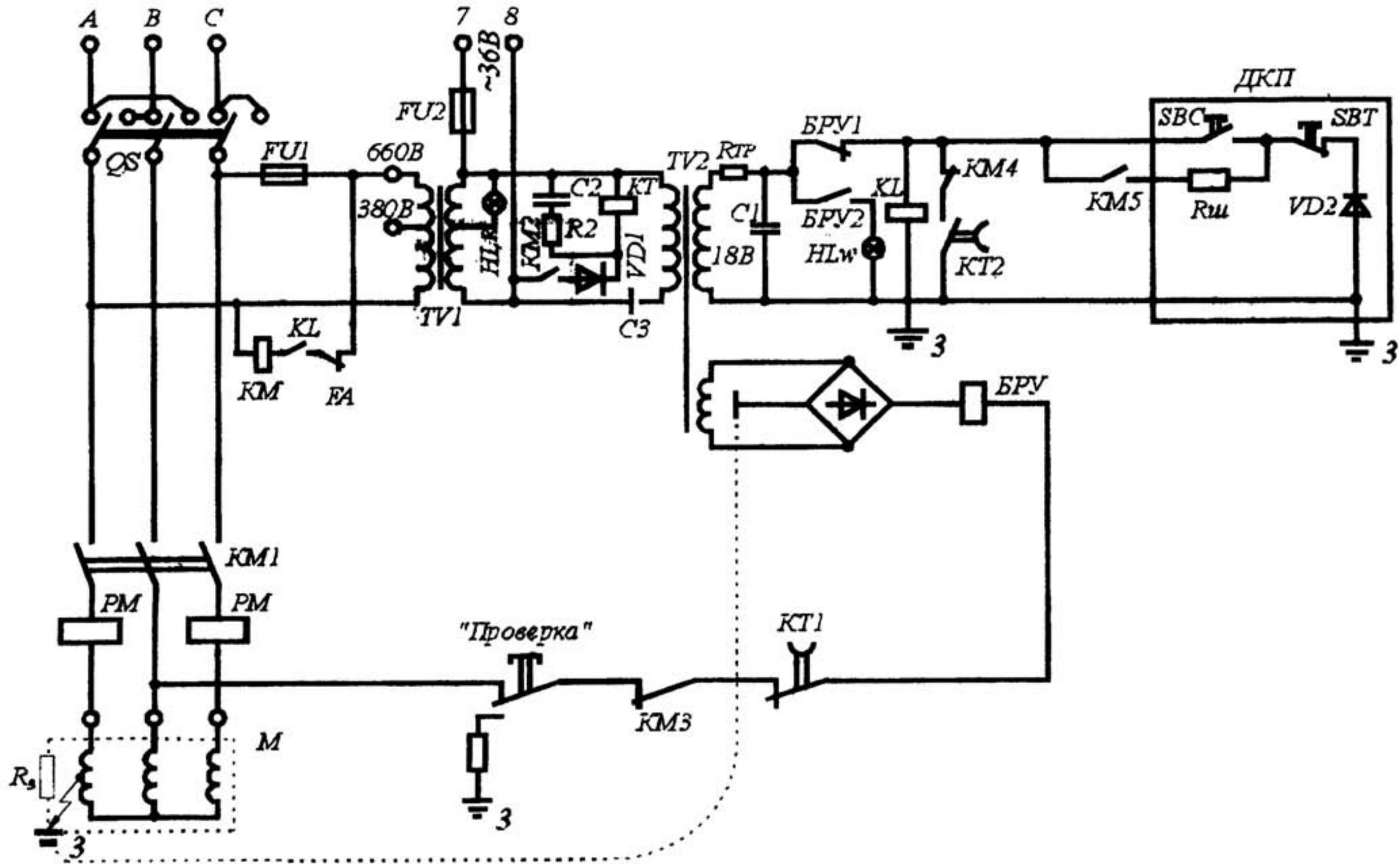


Рис. 10.5. Принципиальная электрическая схема пускателя с блокировочным реле утечки типа БРУ

обмотки реле времени $PВ$, реле срабатывает и нормально замкнутым контактом $PВ1$ разрывает цепь обмотки реле $БРУ$, а нормально открытым контактом $PВ2$ подготавливает цепочку для шунтирования обмотки реле $РП$. При отключении контактора прекращается питание реле $PВ$, но якорь реле остается в притянутом состоянии за счет протекания тока разряда конденсатора $C2$ через обмотку реле. Реле $РП$ шунтируется контактами $K4$ и $PВ2$ и в течение 3-4 секунд включить пускатель невозможно. Нормально замкнутый контакт $PВ1$ с выдержкой времени замыкается в цепи реле $БРУ$, тем самым подготавливает его к работе.

10.5. Защита в схемах управления реверсивных пускателей, исключающая одновременное включение контакторов «вперед» и «назад»

Особенностью реверсивных пускателей является наличие двух силовых контакторов, позволяющих менять положение двух фаз на зажимах управляемого двигателя (рис.10.6).

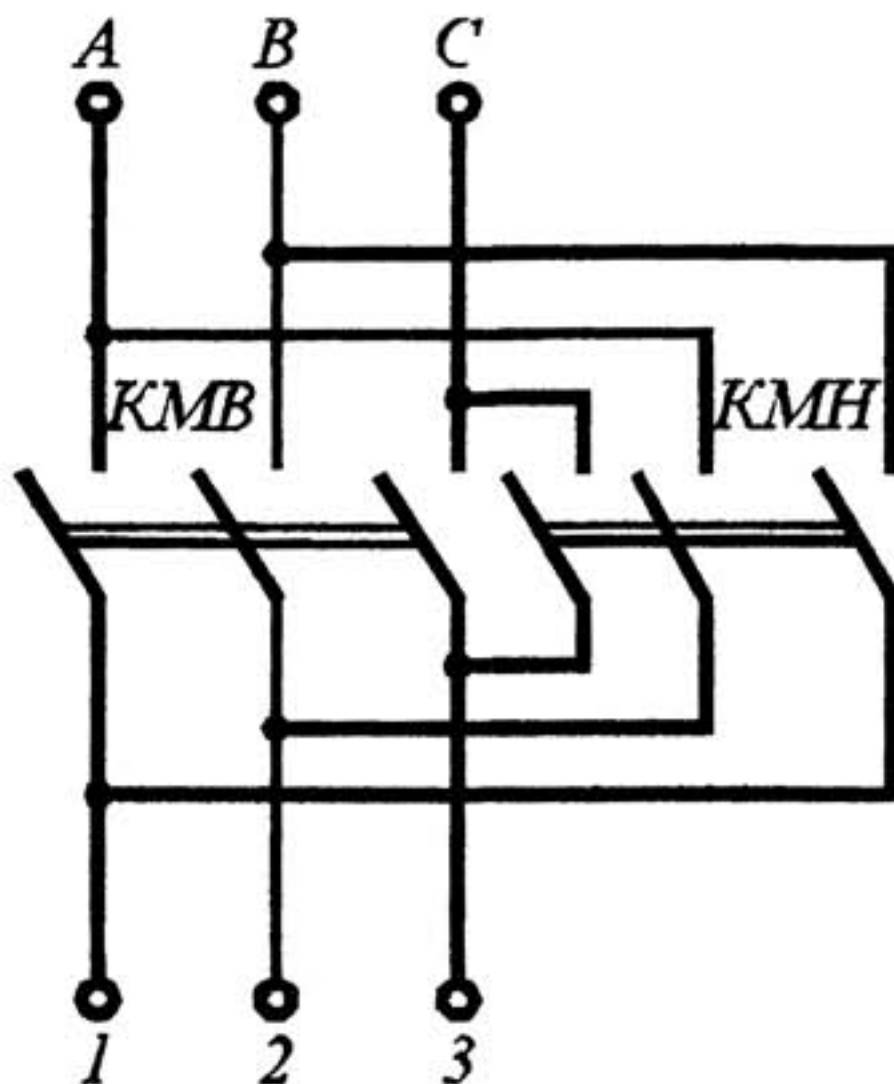


Рис.10.6. Силовая цепь реверсивных пускателей

При включении контактора $KВ$ на зажимы двигателя 1, 2, 3 подключаются, соответственно, фазы A, B, C . Контактор $KН$ меняет фазы на зажимах 1, 2 и тем самым заставляет двигатель вращаться в обратном направлении. Нормальный режим работы данной схемы возможен только при строгой очередности включения контакторов $KВ$ и $KН$. Если вследствие каких-либо причин произойдет одновременное включение контакторов, то на фазах AB произойдет короткое замыкание. В целях исключения данного явления в схемы реверсивных пускателей встраивают специальные механические и электрические блокировки. Механическая блокировка выполняется в виде рычага (коромысла), связывающего подвижные якоря магнитной системы контакторов. При включении контактора $KВ$ рычаг стремится разомкнуть контакты контактора $KН$ и наоборот.

Кроме того, в схеме управления пускателем устраивают электрическую блокировку при помощи н.з. блок-контактов контактора $KВ$ $KВ1$ $KН1$ (рис.10.7).

При срабатывании контактора $KВ$ его н.з. контакт $KВ1$ размыкает цепь управления контактором $KН$ и не позволяет включить последний путем нажатия кнопки «назад». Для включения контактора $KН$ прежде

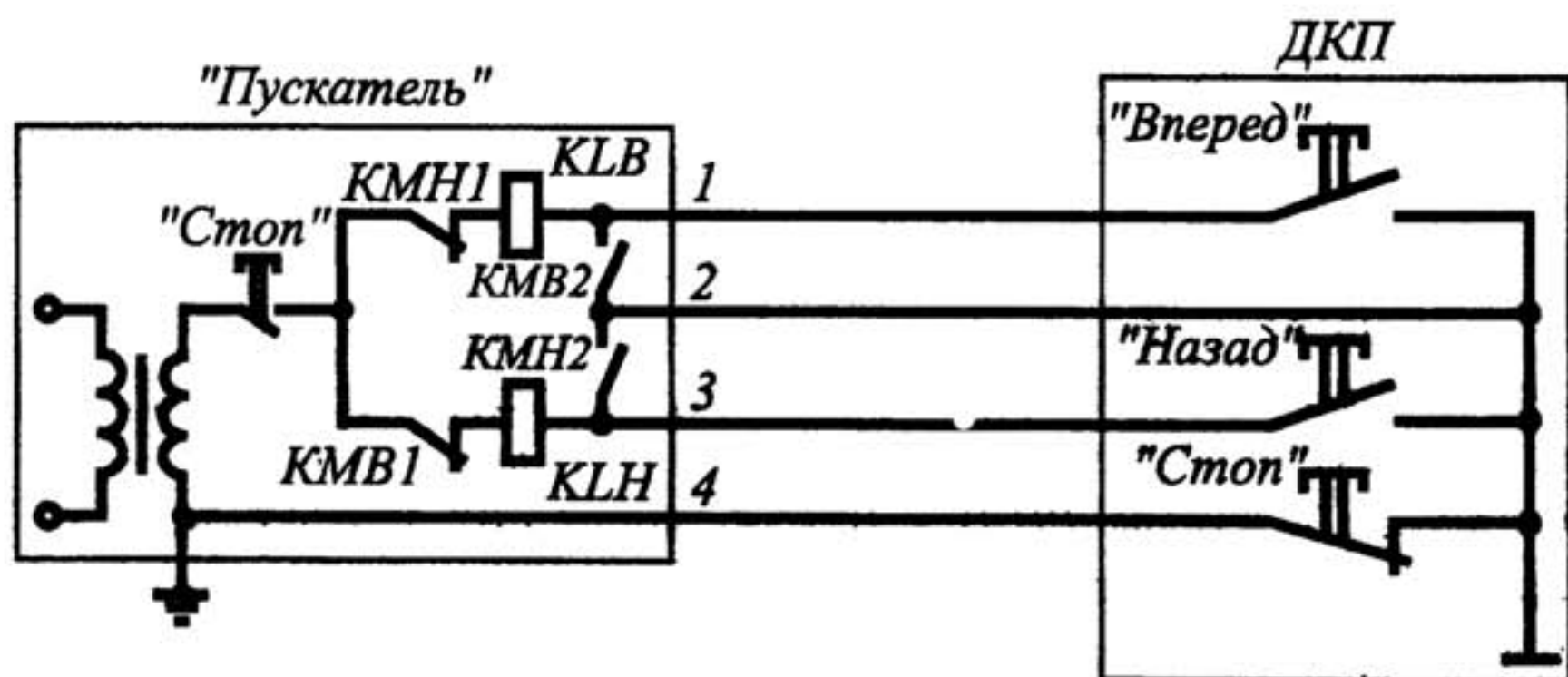


Рис.10.7. Устройство электрической блокировки в схемах управления реверсивным пускателем

необходимо нажать кнопку «стоп» ($KВ$ отключится, замкнет свой контакт $KВ1$ в цепи реле $РПН$ и тем самым подготовит схему для включения). Теперь нажатием кнопки «назад» включается контактор $KН$, который разры-

вает своим контактом *КН1* цепь управления контактора *КБ* (реле *РПВ*). Однако, как правило, в схемах управления реверсивными магнитными пускателями устраивается дополнительная блокировка, которая осуществляется путем специальной схемы соединения кнопок «вперед» и «назад» через дополнительные, нормально замкнутые, контакты кнопки (рис.10.8).

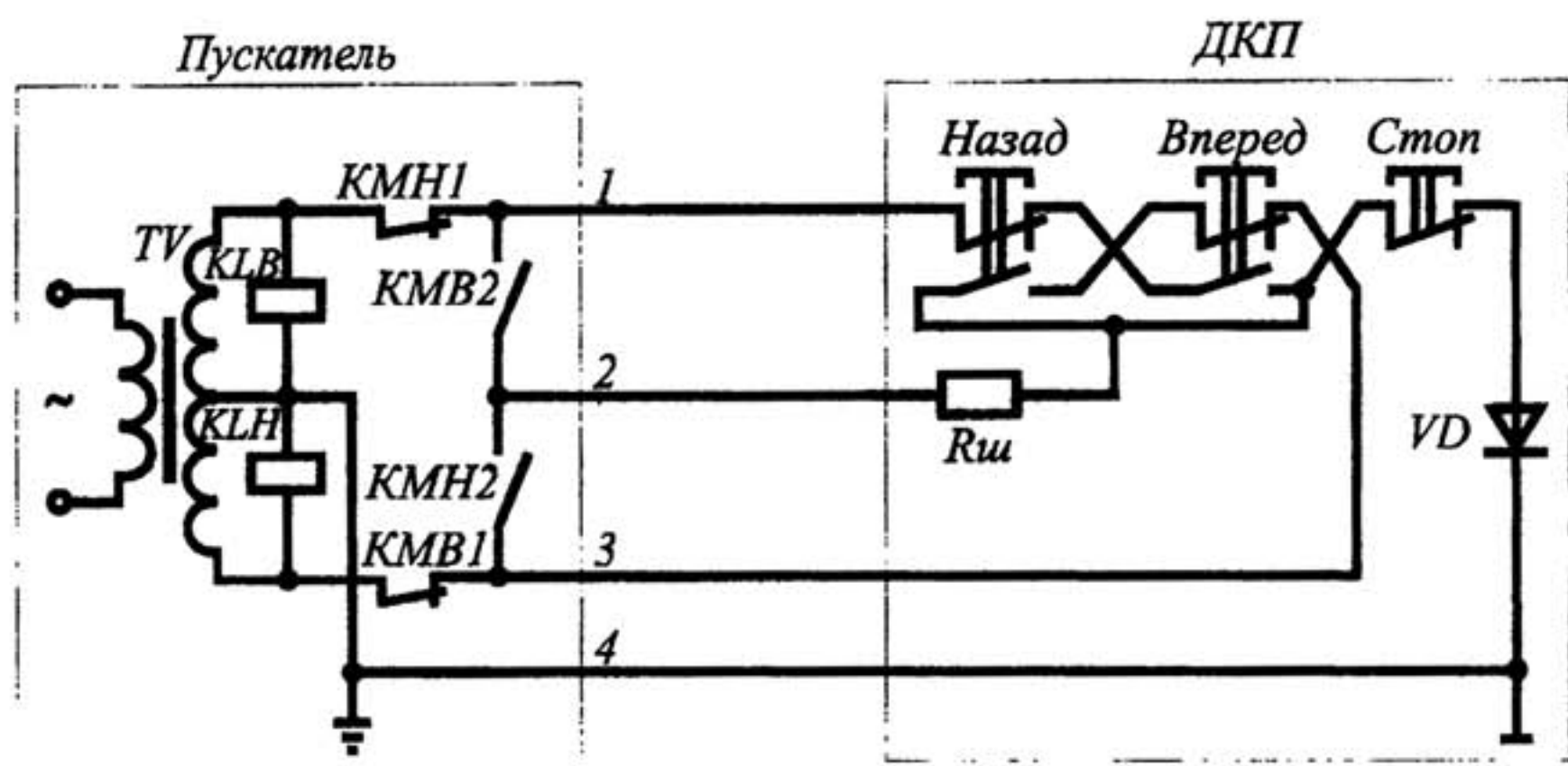


Рис.10.8. Устройство дополнительной блокировки в кнопочном посту реверсивного пускателя

Схема подключения кнопочного поста выполняется таким образом, что при нажатии кнопки «назад» размыкается нормально замкнутый контакт этой же кнопки, который находится в цепи управления контактора *КВ* (реле *РПВ*) и создает дополнительный разрыв в цепи управления последнего. Если нажимается кнопка «вперед», то разрывается цепь управления контактора «назад» и происходит реверсирование двигателя. В данной схеме не обязательно перед реверсом нажатие кнопки «стоп», что позволяет оперативнее управлять двигателем.

Наличие трех видов блокировок в схемах реверсивных пускателей полностью исключает возможность одновременного включения двух контакторных систем вследствие ошибочных действий обслуживающего персонала или неисправности в схемах управления.

10.5.1. Блок дистанционного управления типа БДУ

Блок дистанционного управления имеет искробезопасные цепи и обеспечивает следующее:

- самоконтроль исправности элементов схемы, что обеспечивается наличием двух параллельных схем реле $K1.1$ и реле $K2.1$ и логической схемой реле $K4.1$ и $K5.1$;
- защиту от потери управляемости при замыкании в цепях управления;
- защиту от самовключения при повышении напряжения в силовой цепи;
- контроль исправности заземляющей жилы.

Электрическая схема БДУ состоит из двух аналогично работающих измерительных схем (рис.10.9), содержащих схемы сравнения токов, усилители и выходные реле.

Контакты выходных реле включены в логическую схему, которая осуществляет управление промежуточным реле.

Входная цепь представляет собой схему сравнения токов и состоит из резисторов $R9, R17, R18, R21, R13, R19$, конденсаторов $C10, C11$, диодов $VD6, VD7, VD10$. Сравнение токов происходит на базе транзистора $VT7$, нагрузкой которого является резистор $R16$. В цепь нагрузки включена схема временной задержки сигнала управления, состоящая из транзисторов $VT3, VT4$, резисторов $R2, R5, R6, R16$, конденсаторов $C4, C6$, диода $VD4$, стабилитрона $VD1$.

К входной цепи схемы сравнения токов (зажимам 10 и 20) подключен пост ПДУ. При подаче напряжения на схему в положительный полупериод ток от источника напряжения проходит по двум параллельным ветвям ($R13, VD7$ и $R23, VD9$) и ПДУ. В отрицательный полупериод ток течет по цепи $VT7, R21, R18, R17, VD6, R9$. На базе транзистора $VT7$ происходит сравнение токов. При разомкнутой кнопке «пуск» транзисторы $VT7$ и $VT1$ заперты, реле $K1.1$ обесточено. При замыкании кнопки «пуск» происходит шунтирование цепи $R13, VD7, R19, VD10$, что приводит к преобладанию тока в цепи $VT7, R21, R18, R17, VD6, R9$.

В результате открываются транзисторы $VT7, VT1$ и срабатывает реле $K1.1$. При увеличении сопротивления в цепи дистанционного управления ток в цепи $R13, VD7, R19, VD10$ возрастает, что приводит к запираанию транзисторов $VT7, VT1$ и отключению реле $K1.1$. При замыкании проводов дистанционного управления между собой происходит

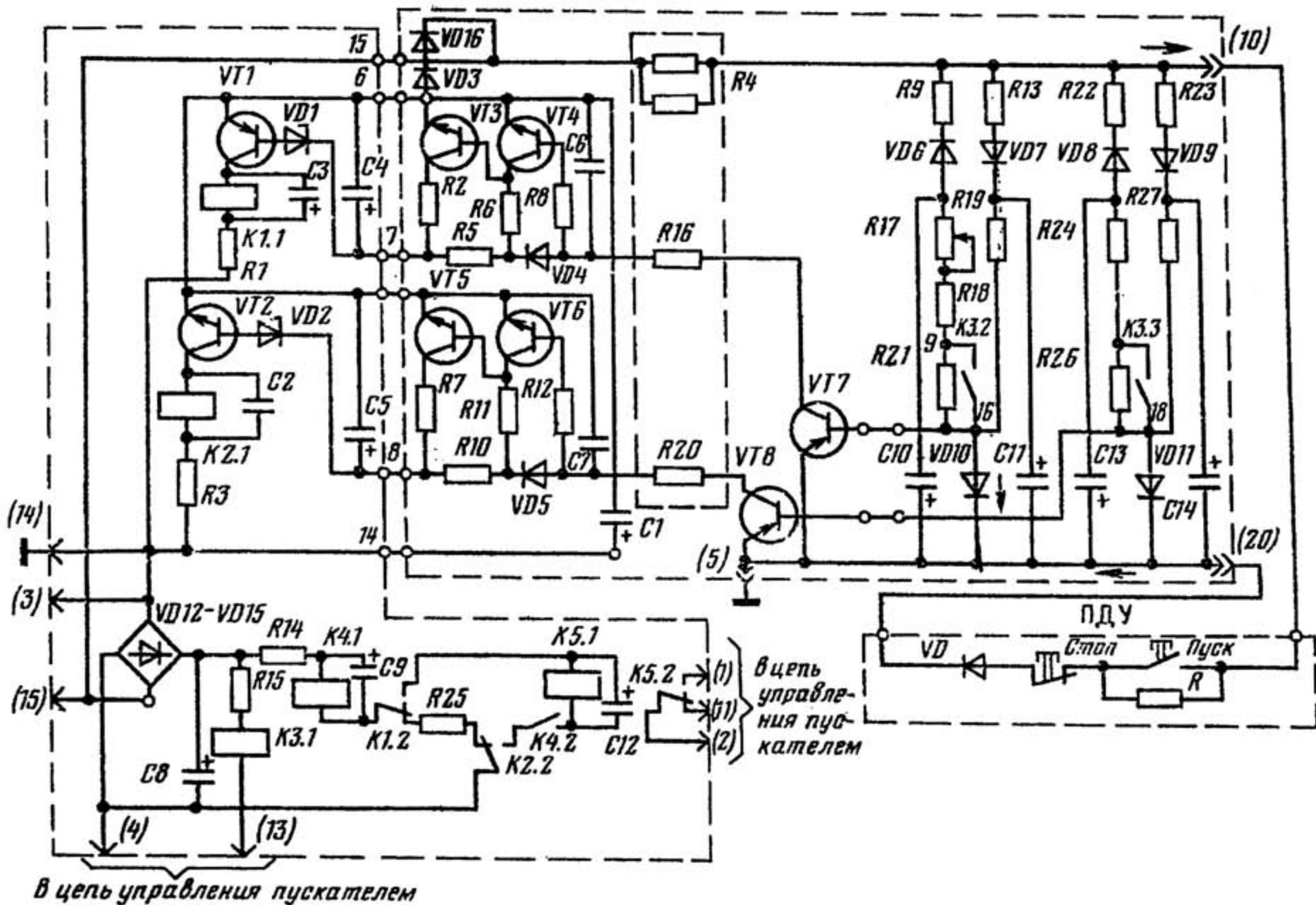


Рис.10.9. Принципиальная схема блока БДУ

шунтирование обеих цепей, затем запираание транзисторов $VT7$ и отключение реле $K.1.1$. Схема временной задержки служит для компенсации фазового сдвига между напряжением питания реле $K.1.1$ и током управления в базовой цепи $VT1$ и для устойчивой работы при переходных процессах в цепях управления.

Контакты выходных реле двух измерительных схем включены в логическую схему таким образом, что реле $K.4.1$ при подаче напряжения на схему включается и замыкает контакт $K.4.2$ в цепи реле $K.5.1$. При наличии управляющего сигнала в цепях дистанционного управления контакты реле $K.1.2$ и $K.2.2$ переключаются. При этом остается включенным реле $K.4.1$ и включается реле $K.5.1$, которое своими контактами $K5.2$ включает промежуточное реле. При несогласованной работе контактов $K.1.2$ и $K.2.2$ происходит подача напряжения на катушку реле $K.4.1$, размыкание контакта $K.4.2$ и отключение промежуточного реле.

Искробезопасность схемы обеспечивается путем применения пониженного напряжения большого внутреннего сопротивления источника питания $R4$, $R16$, $R20$, реле постоянного тока, индуктивность которых шунтируется конденсаторами.

10.5.2. Схема дистанционного управления шкафами КРУВ-6

Схемой шкафов предусмотрены два режима оперативного управления: местный - от кнопок управления, расположенных на двери шкафа, и дистанционный - посредством пульта ПДУ. Для выбора режима управления служит тумблер $SA3$, расположенный внутри шкафа. Возможны также режимы управления от устройств автоматики и средств ТУ-ТС (рис.10.10).

Основной элемент устройства управления - двухобмоточное реле KI на базе реле $РП -252$ со встречно включенными обмотками $W1$, $W2$. Параметры реле и цепей подобраны так, что его включение возможно лишь при условии одновременной согласной работы обеих катушек реле.

При местном управлении (тумблер $SA3$ в положении "М") в ждущем режиме в полупериод, когда диод $VD3$ закрыт, через обмотки реле протекает ток по стрелке влево. Результирующая намагничивающая сила равна нулю, поскольку создаваемые обмотками магнитные потоки

взаимно уничтожаются. В течение следующего полупериода обмотка $W2$ шунтирована открытым диодом $VD3$ и ток по стрелке вправо протекает только через обмотку $W1$. Намагничивающая сила, создаваемая одной обмоткой, недостаточна для срабатывания реле. При замыкании кнопки $SB2$ «вкл» собирается цепь диода $VD4$. В полупериод, когда он открыт, ток (по стрелке влево) проходит через обмотку $W2$. В течение этого же полупериода через обмотку $W1$ (по стрелке вправо) проходит ток, обусловленный ЭДС взаимоиндукции, который замыкается через диод $VD4$. Под действием суммарной намагничивающей силы обеих обмоток реле включается. Во второй полупериод, когда открыт диод $VD3$, через обмотку $W1$ (по стрелке вправо) протекает ток, обусловленный приложенным внешним напряжением, а через обмотку $W2$ (по стрелке влево) ток, обусловленный ЭДС взаимоиндукции. Когда включается реле $K.1$ и его повторитель $K3$, кнопку $SB2$ можно отпустить, поскольку диод $VD4$ при этом шунтирован диодом $VD5$. После включения выключателя контакт $QF1.4$ шунтирует обмотку $W1$, а $QF1.5$ отключает диод $VD5$, но каждый раз, когда при закрытом диоде $VD3$ через обмотку $W2$ протекает ток (по стрелке влево), в обмотке $W1$ протекает ток (по стрелке вправо), обусловленный ЭДС взаимоиндукции. При открытом диоде $VD3$ в обмотке $W2$ под действием ЭДС самоиндукции протекает ток (по стрелке влево), который замыкается через диод $VD3$.

Для отключения выключателя (реле $K.1$) необходимо нажать на кнопку SB . При этом к обмотке $W1$ прикладывается переменное напряжение и реле отпускает. При дистанционном управлении от поста ПДУ (тумблер $SA3$ в положении «Д») схема работает аналогично. При этом включение осуществляется кнопкой $SB5$, а диоды $VD3$ и $VD4$ заменяются соответственно диодами $VD6$ и $VD7$. Отключение осуществляется кнопкой $SB4$.

Схема дистанционного управления обеспечивает световую двухпозиционную сигнализацию положения выключателя. При отключенном выключателе горит лампа $H2$. В цепи лампы большое сопротивление обмотки $W1$ и лампа шунтирована резистором $R2$ (120 Ом, что почти в 3 раза меньше сопротивления лампы). После срабатывания выключателя контакт $QF1.5$ размыкает цепь лампы $H2$, а контакт $QF1.4$ шунтирует обмотку $W1$, вследствие чего ток в цепи лампы $H1$ резко возрастает, и она загорается. Следует учитывать, что при дистанционном управлении в цепь обмоток реле вводятся дополнительные сопротивления проводов линии связи, а также резистора $R2$ и лампы $H1$. Для

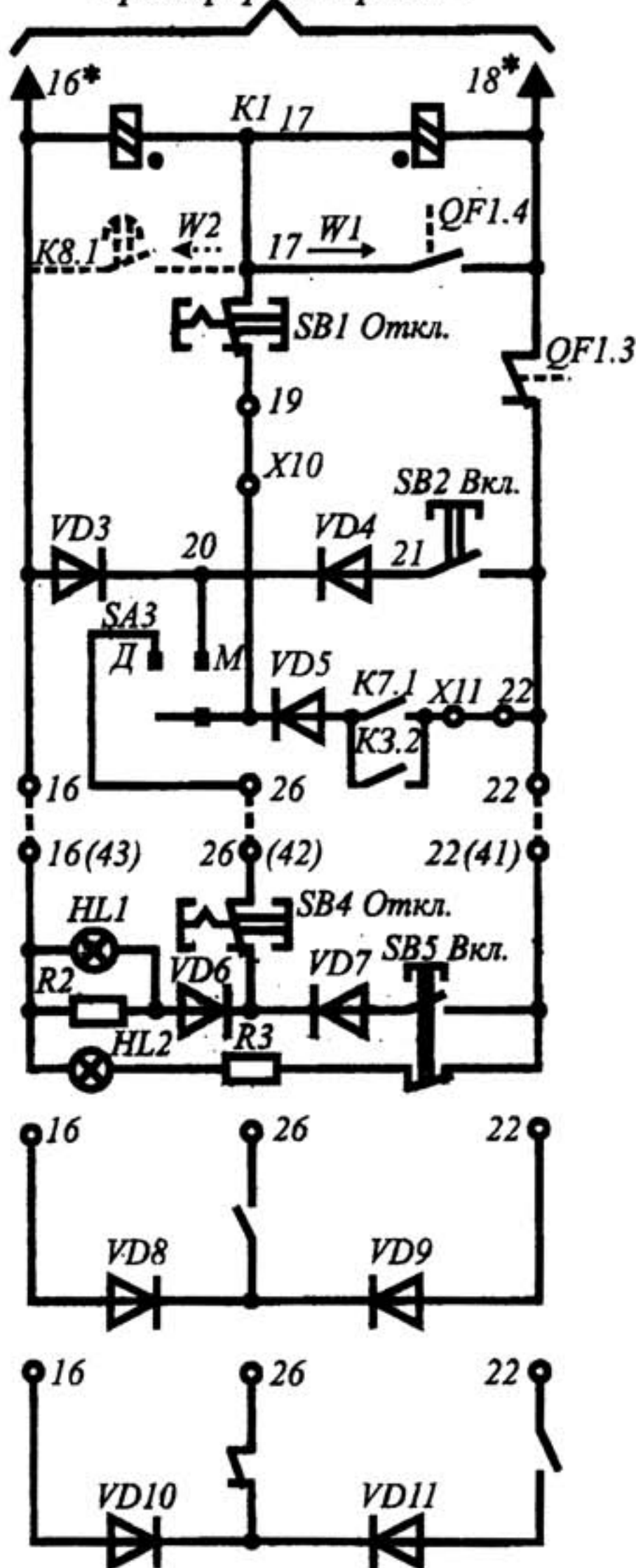
сохранения управляемости и обеспечения надежной сигнализации в цепи диода $VD6$ должен протекать ток ≥ 20 мА. При заданных сопротивлениях резистора $R2$ и лампы $H1$ сопротивление линии связи (каждого проводника) должно быть ≤ 60 Ом.

Дистанционное управление от устройств технологической автоматики осуществляется по трехпроводной схеме одним замыкающим контактом и диодами $VD8$, $VD9$. Используемый в этой схеме замыкающий контакт должен автоматически отключаться при снятии напряжения со шкафа. При дистанционном управлении от устройств $TU-TC$ (типа $TKY-2$, «Ветер» и др.) диоды $VD10$ и $VD11$ необходимо устанавливать в полуконтакте KII устройства $TU-TC$ или непосредственно вблизи него. Используются два контакта устройства $TU-TC$: замыкающий для включения и размыкающий для отключения.

При снятой перемычке $X11$ (задняя стенка релейного блока $Бл.1$) в режимах работы дистанционного управления посредством поста $ПДУ$, технологической автоматики или устройства $TU-TC$ и введенного в работу устройства $АВВ$ можно осуществить однократное дистанционное включение выключателя, отключенного защитой от токов $K3$. Автоматического включения выключателя при этом не происходит. Число успешных включений не ограничивается. Приведенные здесь схемы дистанционного управления обеспечивают защиту от потери управляемости при любых повреждениях линии связи. При обрыве любого провода линии связи (16, 22, 26) или любой комбинации замыканий между этими проводами включение реле $K1$ невозможно, так как нарушается питание выпрямленным током одной или обеих катушек реле.

Если к моменту повреждения линии связи реле $K1$ было включено, то обрыв проводов 16 или 26 и замыкание между ними вызывают отключение реле $K1$. При обрыве провода 22 или при замыкании между проводами 16 и 22 автоматическое отключение реле $K1$ не происходит, но при нажатии на кнопку $SB4$ реле четко отключается, т.е. в этих случаях потери управляемости нет. При повреждении диода $VD7$ включение реле $K1$ дистанционно становится невозможным, но автоматического отключения его при этом не происходит. Функция дистанционного отключения при этом сохраняется. При любом повреждении диода $VD6$ обмотка $W2$ реле $K1$ обтекается переменным током. Включенное реле при этом отпускает. Включить реле $K1$ при поврежденном диоде $VD6$ нельзя.

Искробезопасные цепи
трансформатора TV1



Устройство
управления

Линия
связи

Выносной
пост ПДУ

Устройство
ТУ-ТС

Рис. 10.10. Принципиальная электрическая схема управления шка-
фами КРУВ-6

Режим дистанционного автоматического отключения шкафа от действия метан-реле или аппаратуры контроля воздуха осуществляется подключением размыкающего контакта к зажимам 19-23 вместо переключки $X10$ (искробезопасная цепь) или к зажимам 8-12 вместо переключки $X8$ (искроопасная цепь). Питание искроопасных цепей метан-реле осуществляется от зажимов 3-11 (правая коробка).

Реле $K1$ воздействует на схему привода непосредственно своими контактами и через промежуточное реле $K3$. При включении реле контакт $K1-2$ собирает цепь включения промежуточного реле $K3$. При отключении реле $K1$ контакт $K1.2$ собирает цепь отключающего электромагнита, а контакт $K1-3$ исключает $АПВ$ после оперативного отключения выключателя.

11. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

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

Автоматические выключатели изготавливают для цепей переменного до 1000 В и постоянного тока до 440 В одно-, двух-, трех- и четырех-полюсные на номинальные токи от 6,3 до 6300 А.

Автоматические выключатели имеют реле прямого действия, называемые *расцепителями*, которые обеспечивают отключение при перегрузках, КЗ, снижении напряжения. Отключение может происходить без выдержки времени или с выдержкой. По собственному времени отключения $t_{с.о}$ (промежуток от момента, когда контролируемый параметр превзошел установленное для него значение, до момента начала расхождения контактов) различают:

- нормальные выключатели ($t_{с.о} = 0,02 - 1 \text{ с}$);
- выключатели с выдержкой времени (селективные);
- быстродействующие выключатели ($t_{с.о} < 0,005 \text{ с}$).

Нормальные и селективные автоматические выключатели токоограничивающим действием не обладают. Быстродействующие выключатели обладают токоограничивающим действием, так как отключают цепь до того, как ток в ней достигнет значения i_y .

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

Автоматические выключатели изготавливают с ручным и двигательным приводом, в стационарном или выдвижном исполнении.

Основные элементы автоматического выключателя и их взаимодействие рассмотрим по принципиальной схеме (рис.11.1).

Контактная система выключателей на большие токи – двухступенчатая, состоит из главных 11,5 и дугогасительных контактов 7. Главные контакты должны иметь малое переходное сопротивление, так как по ним проходит основной ток. Обычно это массивные медные контакты с серебряными накладками на неподвижных контактах и металлокерамическими накладками на подвижных контактах. Дугогасительные контакты замыкают и размыкают цепь, поэтому они должны быть устойчивы к возникающей дуге, поверхность этих контактов металлокерамическая.

При номинальных токах 630 А контактная система одноступенчатая, т.е. контакты выполняют роль главных и дугогасительных.

На рис.11.1 выключатель показан в отключенном положении. Чтобы его включить, вращают рукоятку 2 или подают напряжение на электромагнитный привод 1(УА). Возникающее усилие перемещает рычаги 3 вправо, при этом поворачивается несущая деталь 13, замыкаются сначала дугогасительные контакты 5-11. После завершения операции выключатель удерживается во включенном положении защелкой 14 с зубцами 15 и пружиной 16.

Отключают выключатель рукояткой 2, приводом 1 или автоматически при срабатывании расцепителей.

Автоматические выключатели могут быть оборудованы одним или несколькими расцепителями.

Максимальный расцепитель 17 срабатывает при протекании по его обмотке УАТ1 тока КЗ. Создается усилие, преодолевающее натяжение Р пружины 16, рычаги 3 переходят вверх за мертвую точку, в результате чего автоматический выключатель отключается под действием отключающей пружины 4.

Независимый расцепитель УАТ2 срабатывает, если на обмотку УАТ2 подать напряжение кнопкой SB, что позволяет производить дистанционное отключение выключателя.

Минимальный расцепитель 18 отключает автоматический выключатель при снижении или исчезновении напряжения и при этом осуществляют минимальная или нулевая защиты.

Тепловой расцепитель осуществляет защиту от перегрузки электродвигателей и содержит в основе биметаллические пластины (на рис. 11.1 данный расцепитель отсутствует).

При отключении выключателя сначала размыкаются главные контакты и весь ток переходит на дугогасительные контакты. На главных контактах дуга не образуется.

Дугогасительные контакты 7 размыкаются, когда главные находятся на достаточном расстоянии. Между дугогасительными контактами образуется дуга, которая выдувается вверх в *дугогасительную камеру 8*, где и гасится.

Дугогасительные камеры выполняются со стальными пластинами (эффект деления длинной дуги на короткие) и лабиринтно-щелевыми (эффект гашения дуги в узкой щели). Втягивание дуги в камеру осуществляется магнитным дутьем. Материал камеры должен обладать высокой дугоустойчивостью.

При протекании тока *KЗ* через включенный автоматический выключатель между контактами возникают значительные электродинамические силы, превышающие силы контактных пружин 6 и 10, которые могут оторвать один контакт от другого, а образовавшаяся дуга может сварить их. Чтобы избежать самопроизвольного отключения, применяют электродинамические компенсаторы в виде шинок 9, изогнутых петель. Токи в шинах 9 имеют разное направление, что создает электродинамическую силу, увеличивающую нажатие в контактах.

Рычаги 3 выполняют роль *механизмов свободного расцепления*, которые обеспечивают отключение автоматического выключателя в любой момент времени, в том числе при необходимости и в процессе включения. Если выключатель включается на существующее *KЗ*, то максимальный расцепитель 17 срабатывает и переводит рычаги 3 вверх за мертвую точку, нарушая связь привода 1 (или 2) с подвижной системой автоматического выключателя, который отключается пружиной 4, несмотря на то, что приводом будет передаваться усилие на включение. В реальных автоматических выключателях механизм свободного расцепления имеет более сложное устройство.

Номинальным током автоматического выключателя $I_{ном.а}$ назы-

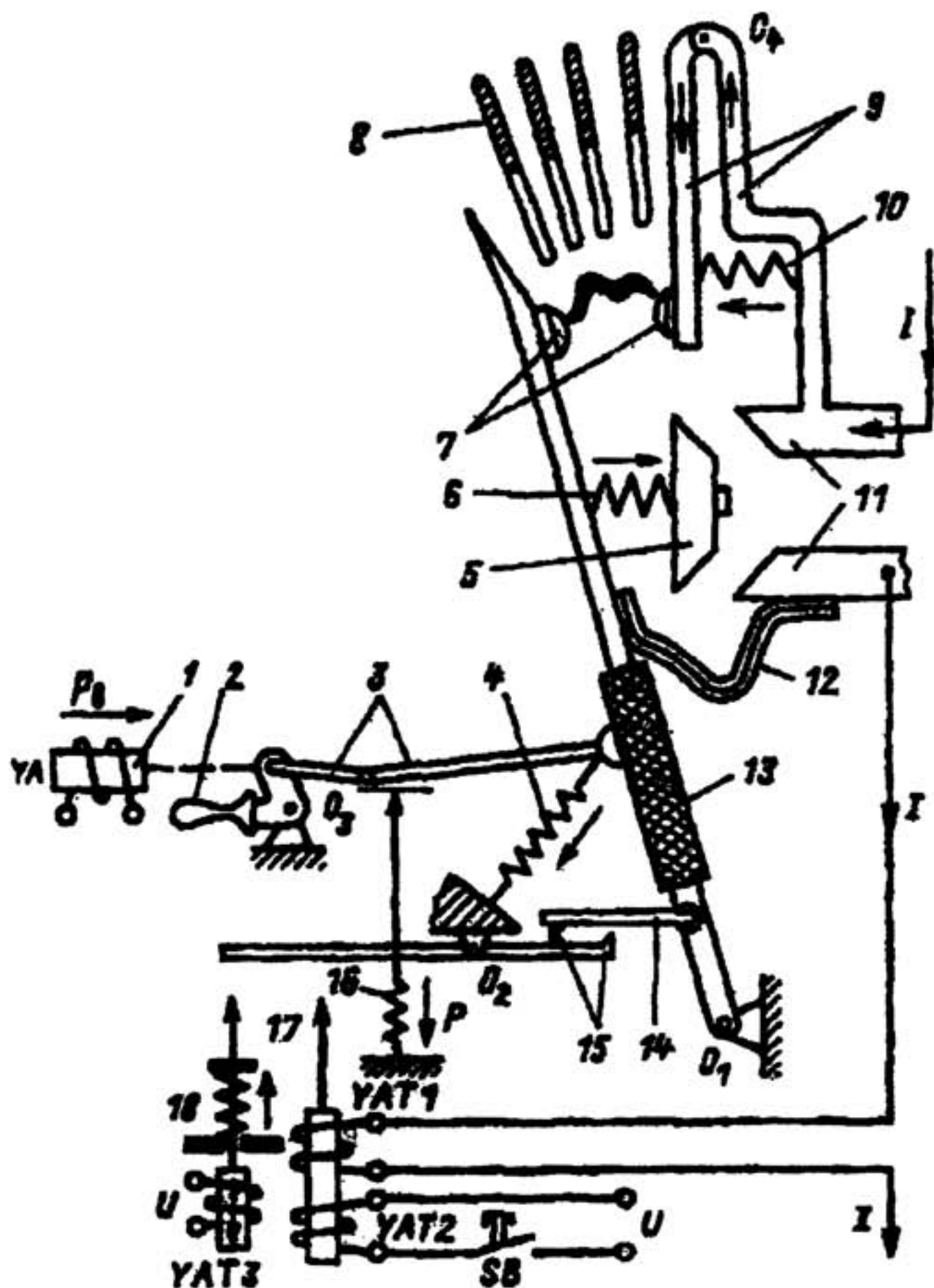


Рис.11.1. Принципиальная схема автоматического выключателя

вают наибольший ток, при протекании которого выключатель может длительно работать без повреждений.

Номинальным напряжением автоматического выключателя $U_{ном.а}$ называют указанное в паспорте напряжение, равное напряжению электрической сети, для работы в которой этот выключатель предназначен.

Номинальным током расцепителя $I_{ном.рас}$ называют указанный в паспорте ток, длительное протекание которого не вызывает срабатывание расцепителя.

Током уставки расцепителя называют наименьший ток, при протекании которого расцепитель срабатывает.

Защитная характеристика автоматического выключателя приведена на рис.11.2. Максимальные расцепители электромагнитного типа имеют обратную зависимость от тока выдержку времени при перегрузках (участок ab) и независимую выдержку времени при токах КЗ (cd). Уставка по току регулируется в зоне перегрузки и в зоне КЗ (отсечка). Время срабатывания регулируется при $I_{ном}$, при $3-10 I_{ном}$ и при токе КЗ. В автоматических выключателях с электромагнитными расцепителями выдержка времени в независимой от тока части характеристики достигается за счет часового анкерного механизма, в зависимой — от силы притяжения якоря электромагнита к сердечнику.

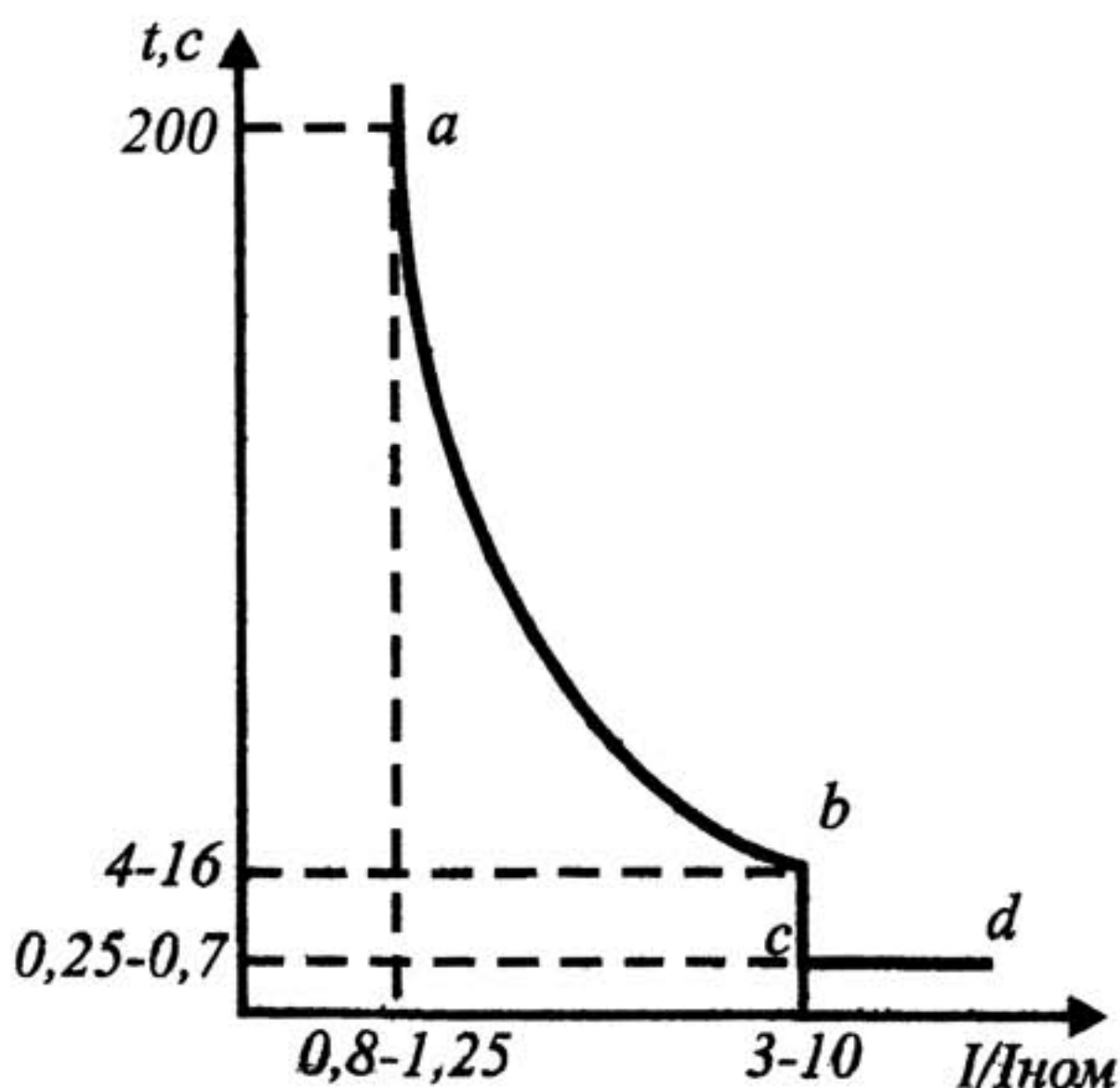


Рис.11.2. Защитная характеристика автоматического выключателя

Тепловые реле используются для защиты от перегрузок низковольтных электродвигателей. Чувствительным органом реле являются специ-

альные элементы (биметаллическая пластина), которые под воздействием тепла, выделяющегося при протекании через реле тока защищаемого электродвигателя, изгибаются.

Биметаллическая пластинка – это наложенные друг на друга и сваренные между собой две полоски из металлов с разными коэффициентами линейного расширения, т.е. удлиняющиеся при нагреве неодинаково. При нормальной температуре (между 0° и 20°C) полоски имеют одинаковую длину, а при ее повышении пластинка 1 (рис.11.3) изгибается кверху и в определенном положении освобождает рычаг 2, который под воздействием пружины 3 поворачивается и размыкает контакты 4 и 5. Очевидно, что чем больше нагрев пластинки, тем больше и быстрее она изогнется и тем быстрее сработает тепловое реле.

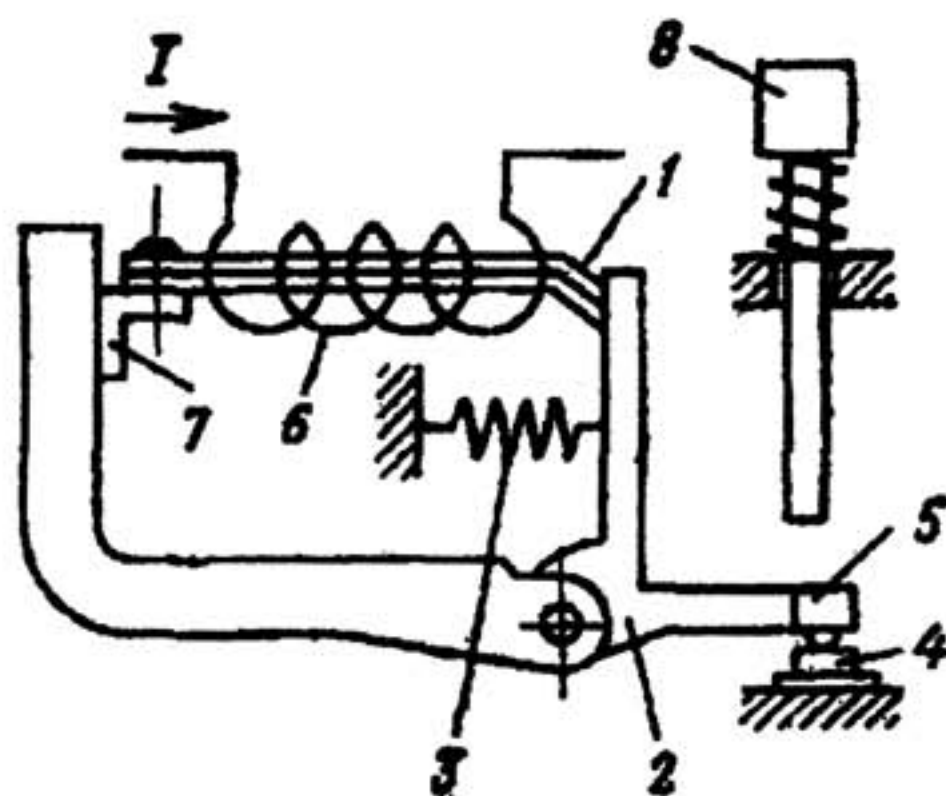


Рис.11.3. Схема устройства теплового реле

Ток защищаемого электродвигателя в тепловом реле проходит непосредственно через биметаллическую пластинку (прямой нагрев), через нагревательный элемент 6 (косвенный нагрев) или комбинированно, т.е. через биметаллическую пластинку и нагревательный элемент. Величина тока срабатывания может быть изменена путем смены биметаллической пластинки или нагревательного элемента (нихромовое сопротивление) на другие, имеющие разную форму и сечение.

В некоторых типах тепловых реле предусматривается регулятор, позволяющий в довольно широких пределах плавно изменять величину тока и время срабатывания. Например, при изгибании регулировочным винтом (на рис.11.3 не показан) скобы 7 изменится относительное по-

ложение биметаллической пластинки и рычага, а следовательно, и ток срабатывания.

Возврат реле в исходное положение после срабатывания может происходить автоматически или при нажатии кнопки возврата 8.

Для уменьшения влияния колебания температуры окружающей среды может быть применена температурная компенсация. Компенсатор представляет собой биметаллическую полоску, соединяющую основной биметаллический элемент с основанием реле. Коэффициенты линейного расширения и взаиморасположение обоих биметаллов подбираются таким образом, что при изменении температуры окружающей среды они изгибаются в разные стороны, и величина тока срабатывания не изменяется.

Для того чтобы тепловое реле срабатывало точно, необходимо совпадение тепловых характеристик электродвигателя и реле, т.е. равенство их постоянных нагрева и охлаждения. Добиться этого практически очень сложно по ряду причин: нагрев различных частей неодинаков, постоянные времени нагрева и охлаждения электродвигателей различны и изменяются при различных нагрузках и режимах работы. Кроме того, следует учитывать, что в конкретных условиях эксплуатации электродвигатель и тепловое реле размещаются в местах с разной температурой окружающей среды. Например, электродвигатель комбайна находится в лаве, а тепловое реле в пускателе, установленном на штреке. Поэтому добиться хорошей защиты от перегрузки с помощью тепловых реле затруднительно. Удовлетворительные результаты можно получить лишь для электродвигателей, работающих в продолжительном режиме работы. ПУЭ не требуется применение защиты от перегрузки для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы.

Тепловые реле характеризуются номинальным напряжением и током. Номинальное напряжение $U_{ном.р}$ — наибольшее из номинальных напряжений сетей, в которых допускается применять данное реле. Номинальный ток реле $I_{ном.р}$ — наибольший ток, длительное протекание которого не вызывает срабатывания реле. Номинальный ток нагревателя $I_{ном.нагр.}$ — наибольший ток, при длительном протекании которого через реле с данным нагревателем оно не срабатывает. Если реле имеет сменные нагреватели, то номинальный ток реле равен наибольшему из номинальных токов нагревателей, которые могут быть установлены в

данном реле. Для реле с регулятором $I_{ном.р}$ и $I_{ном.нагр}$ соответствуют среднему (нулевому) положению регулятора. Номинальный ток уставки реле $I_{ном.у}$ – наибольший длительный ток, который при данной настройке реле не вызывает его срабатывания.

На рис.11.4 приведена зависимость времени срабатывания реле $t_{ср}$ от кратности тока $I_{нагр}$, проходящего через реле, по отношению к $I_{ном.нагр}$.

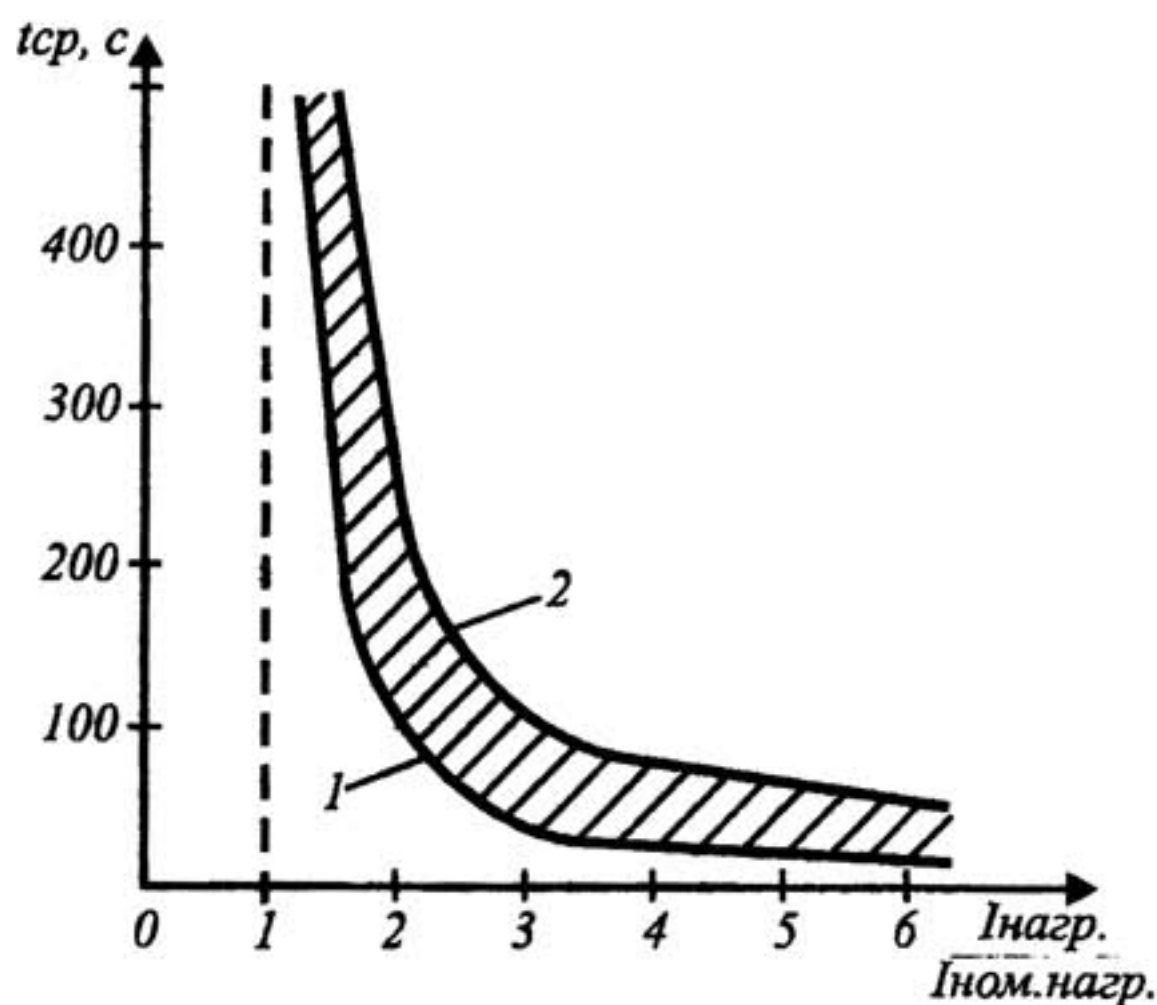


Рис.11.4. Характеристика теплового реле

Кривая 1 является нижней границей времени $t_{ср}$ для реле, нагретого предварительно до рабочей температуры, кривая 2 – верхней границей времени $t_{ср}$ для холодного реле. Как видно, при увеличении тока выше величины $I_{ном.нагр}$ время срабатывания становится тем меньше, чем больше величина $I_{нагр}$.

Тепловое реле (сменный нагревательный элемент) выбирают исходя из условия

$$I_{ном.р} \geq I_{ном.нагр} \approx I_{ном.дв}. \quad (11.1)$$

Если температура окружающей среды $t_{окр}$ не равна номинальной температуре реле $t_{ном.окр}$, то номинальный ток нагревателя $I_{ном.нагр}$ приводится к фактической температуре по приближенной формуле

$$I_{\text{ном.нагр}} \approx I_{\text{ном.нагр}} \left(1 - \frac{\delta}{100} \frac{t_{\text{окр}} - t_{\text{ном.окр}}}{10} \right), \quad (11.2)$$

где δ - изменение номинального тока нагревателя на каждые 10°C разницы величины $t_{\text{окр}}$ по сравнению с $I_{\text{ном.окр}}$, %. Величина δ , например, для реле ТРН равна 2%.

С учетом того, что $I_{\text{ном.нагр}} \approx I_{\text{ном.дв.}}$, находится расчетное значение $I_{\text{ном.нагр}}$, по которому производится выбор сменного нагревателя или исполнения реле:

$$I_{\text{ном.нагр}} = \frac{I_{\text{ном.дв.}}}{1 - \frac{\delta}{100} \frac{t_{\text{окр}} - t_{\text{ном.окр}}}{10}} = \frac{I_{\text{ном.дв.}}}{\alpha}. \quad (11.3)$$

Для реле с регулятором тока уставки необходимое значение $I_{\text{ном.у}}$ определяется из условий:

$$I_{\text{ном.у}} = I_{\text{ном.дв.}} \text{ при } t_{\text{окр}} = t_{\text{ном.окр}}; \quad (11.4)$$

$$I_{\text{ном.у}} = \frac{I_{\text{ном.дв.}}}{\alpha} \text{ при } t_{\text{окр}} \neq t_{\text{ном.окр}}. \quad (11.5)$$

При этом выбор нагревателя производится из условия

$$\frac{I_{\text{ном.у}}}{i_{\text{у.мин}}} > I_{\text{ном.нагр}} > \frac{I_{\text{ном.у}}}{i_{\text{у.мах}}}, \quad (11.6)$$

где $i_{\text{у.мин}}$ и $i_{\text{у.мах}}$ - минимальный и максимальный пределы регулирования уставки, которые приводятся в паспортах реле.

Если тепловое реле включено в цепь электродвигателя через трансформатор тока, то выбор реле и нагревателей производится аналогично, в расчетах вместо $I_{\text{ном.дв.}}$ нужно подставлять величину

$$I'_{\text{ном.дв.}} = \frac{I_{\text{ном.дв.}}}{k_{\text{T.T}}}. \quad (11.7)$$

Следует помнить, что тепловые реле большинства существующих конструкций не защищают электродвигатель от коротких замыканий и сами нуждаются в такой защите. При протекании тока КЗ нагреватель может перегореть быстрее, чем реле отключит электродвигатель. Поэтому тепловые реле необходимо применять в сочетании с максимальной мгновенной защитой, например, с помощью плавких предохранителей или токовых реле.

Для релейной защиты важными параметрами являются время срабатывания и время возврата реле, под которыми понимают интервал времени от момента достижения воздействующей величиной значений срабатывания или возврата соответственно до момента завершения срабатывания или возврата реле. У электромагнитных реле время срабатывания складывается из двух составляющих:

$$t_{c.p} = t_H + t_D, \quad (11.8)$$

где t_H - время от момента достижения воздействующей величиной значения срабатывания до момента начала движения якоря, с; t_D - время от начала движения якоря до момента завершения срабатывания реле, с.

Время t_H зависит от скорости нарастания тока в обмотке реле, а время t_D - от хода якоря и скорости его перемещения. У обычных электромагнитных реле без специальных дополнительных устройств время срабатывания составляет $t_{c.p} = 0,02 - 0,1$ с.

Для релейной защиты и автоматики требуются также реле, замыкающие или размыкающие контакты с некоторым замедлением. У промежуточных реле это замедление обычно получают за счет увеличения времени t_H , а у реле времени - за счет увеличения времени t_D . Для увеличения времени t_H , а следовательно, и времени срабатывания реле необходимо замедлить нарастание магнитного потока при включении.

Замедления нарастания магнитного потока в реле можно достичь с помощью медной втулки, располагаемой концентрически с основной обмоткой на общем сердечнике. При этом удастся получить время срабатывания реле около $t_{c.p} = 0,1 - 0,5$ с. Применение медной втулки для замедления возврата реле является эффективным в связи с тем, что затухание магнитного потока происходит при малом воздушном зазоре, т.е. при большой индуктивности цепи обмотки реле. Время возврата реле удастся получить около нескольких секунд. Реле с медной втулкой получили название *реле с магнитным демпфированием*.

Реле времени, у которых выдержка времени создается путем увеличения составляющей t_D , называются *реле с механическим демпфированием*. Их можно разделить на две группы: реле с замедленным движением якоря и реле с часовым механизмом.

Реле с замедленным движением якоря обычно имеют зависимую характеристику выдержки времени. Для получения замедленного движения якоря в конструкциях реле применяют, как правило,

жидкостные или воздушные демпферы и используют торможение вихревыми токами.

С помощью часового механизма выполняют реле как с независимой, так и с ограниченно зависимой характеристикой выдержки времени.

Электромагнитные измерительные реле в зависимости от их включения в защищаемую цепь делятся на первичные и вторичные. По способу воздействия на выключатель защищаемого объекта различаются измерительные реле прямого и косвенного действия.

11.1. Первичные реле прямого действия

Эти реле подключаются непосредственно к главной электрической цепи и непосредственно воздействуют на механическое исполнительное устройство выключателя. В связи с этим они не требуют ни первичных измерительных преобразователей, ни источников оперативного тока.

В отечественной практике защита с первичным реле прямого действия находит применение в установках напряжением до 1000 В.

Для выполнения защиты, надежно и селективно действующей при коротком замыкании и перегрузках, максимальные расцепители снабжают элементами выдержки времени в виде часовых механизмов. При этом обеспечиваются необходимая выдержка времени срабатывания расцепителя при малых токах и мгновенное отключение автомата при больших токах. Такой максимальный расцепитель имеет две уставки тока срабатывания: замедленного срабатывания и мгновенного срабатывания. В ряде случаев такой расцепитель не обеспечивает селективного действия при коротких замыканиях. Для получения селективного действия не только при перегрузках, но и при всех допустимых для данных автоматов токах КЗ возникает необходимость ввести некоторое небольшое замедление в действие максимального расцепителя при коротком замыкании. Автоматы с такими расцепителями называют селективными.

В современных выключателях применяются полупроводниковые расцепители, которые обеспечивают более высокую точность срабатывания по току и времени. Структурная схема такого расцепителя показана на рис. 11.5. Блок 1 измеряет ток защищаемой сети. В сети переменного тока в качестве блоков 1 применяют трансформаторы тока, а в

сети постоянного тока - магнитные усилители. Блок 2 анализирует сигнал от 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 (участок *ab* характеристики по рис.11.2).

При токе КЗ сигнал с блока 2 достаточен для запуска блока 7, который является токовой отсечкой. Блок 6 создает выдержку времени в независимой части характеристики (участок *cd* на рис.11.2). Блок 5 усиливает сигналы от блоков 4 и 6 и подает импульс на отключающую катушку автоматического выключателя *YAT2*.

Автоматические выключатели серии *ABM* выпускают на номинальные токи до 2000 А и напряжения 500 В переменного и 440 В постоянного тока. Выключатели имеют по две пары контактов на полюс - главные и дугогасительные. Гашение дуги происходит в камере со стальными пластинами.

Выключатели *ABM* имеют максимальные расцепители с обратозависимой выдержкой времени при перегрузках. При токах КЗ максимальный расцепитель срабатывает с установленной выдержкой времени за счет специального механического замедлителя расцепления.

Привод может быть ручным, рычажным или электродвигательным. Выключатель *ABM* изготавливают для стационарной установки или выдвижным для комплектных распределительных устройств.

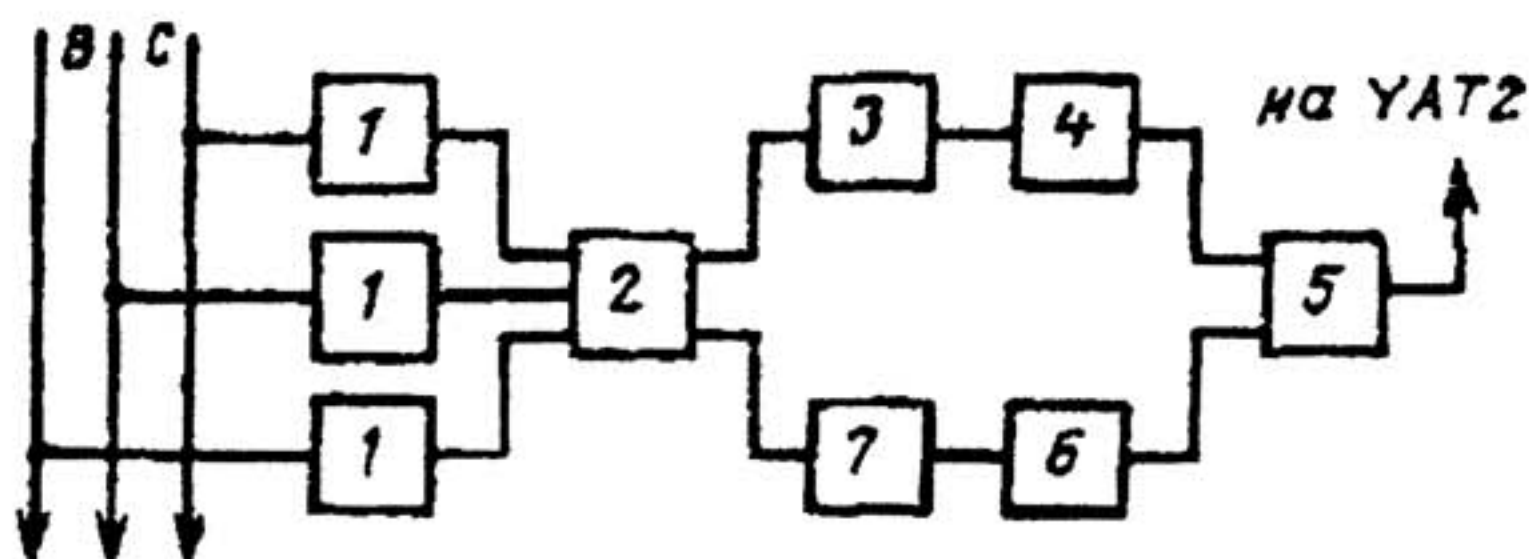


Рис.11.5. Структурная схема полупроводникового расцепителя

Автоматические выключатели серии *ABM* изготавливают двух- и трехполюсными. По способу установки бывают невыдвижные с передним присоединением шин и выдвижные с штепсельными контактами, расположенными с обратной стороны панели. Максимальная отключающая способность таких выключателей составляет $I_{откл.а} = 20$ кА для

переменного и $I_{откл.а}=30$ кА для постоянного тока. Автоматический выключатель содержит настраиваемый максимальный электромагнитный расцепитель с часовым механизмом. При перегрузках обратозависимая от тока выдержка времени, создаваемая часовым механизмом, регулируется у избирательных выключателей серий *АВМ-4С*, *АВМ-10С*, *АВМ-15С* в пределах от нуля до $2I_{ном.а}$, а у выключателей серии *АВМ-20С* - до $1,5I_{ном.а}$. Уставка на ток срабатывания при КЗ (отсечка) регулируется у выключателей данной серии в пределах, указанных в табл. 11.1. При токах больших предельных уставок неизбирательные выключатели срабатывают мгновенно, а избирательные - с независимой от тока выдержкой времени в пределах $0,25 \div 0,4$ или $0,4 \div 0,6$ с, создаваемой анкерным механизмом.

Автоматические выключатели серии *АВМ* имеют невысокую коммутационную способность, ограниченную возможность регулирования защитных характеристик и недостаточные токи и напряжения. С целью устранения перечисленных недостатков разработаны двух- и трехполюсные автоматические выключатели серии "Электрон" (Э), рассчитанные на номинальные напряжения: переменное 660 В и постоянное 400 В и токи расцепителя максимального тока $250 \div 4000$ А. Имеется стационарное и выдвижное исполнение выключателей с механической блокировкой, фиксаторами в рабочем, контрольном и ремонтном положениях, с подвижными и неподвижными штепсельными контактами.

Автоматический выключатель серии "Электрон" (Э) изготавливается для цепей переменного тока до 660 В и постоянного до 440 В на номинальные токи 1000 - 6300 А и токи отключения до 65 - 115 кА. Выключатели этой серии снабжены электродвигательным или электромагнитным приводом, который обеспечивает дистанционное включение. Отключение может осуществляться кнопкой ручного отключения, независимым расцепителем и максимальной токовой защитой, выполненной на полупроводниковых блоках (см. рис.11.5).

Выключатели Э06 на ток до 1000 А имеют одноступенчатую контактную систему, состоящую из параллельно включаемой пары контактов. Выключатели Э16, Э25, Э40 на токи от 1600 до 6300 А имеют рабочие неподвижные контакты, облицованные серебряными накладками, подвижный рабочий контакт и дугогасительные контакты с накладками из металлокерамики. Дугогасительный контакт выполнен с петлеобразным динамическим компенсатором.

Дугогасительное устройство состоит из изоляционного корпуса 2, в котором размещены стальные пластины 1 и пламегасительная решетка 3.

Таблица 11.1

Основные технические данные автоматических выключателей
серии АВМ

Данные автоматического выключателя		Уставки тока срабатывания максимальных расцепителей, А	
тип и номинальный ток, А	номинальный ток катушки максимального расцепителя, А	на шкале обратозависимой от тока характеристики	на шкале независимой от тока характеристики (отсечка)
АВМ-4Н, 400	120 150 250 400	-	100,150,200 150,225,300, 250,375,500 400,600,800
АВМ-4С, 400	120 150 250 250 200 400	150,250 190,300 250,400 310,500 375,600 500,800	960,1300 1200,1650 1600,2200 2000,2750 2400,3300 3200,4400
АВМ-ЮН,1000	600 800 1000	-	600,900, 1200 800,1200,1600 1000,1500,2000
АВМ-10С,1000	500 600 800 1000	625,1000 750,1200 1000,1600 1500,2000	4000,5500 4800,6600 6000,8000 8000,10000
АВМ-15Н,1500	1000,1200 1500	-	1000, 1500,2000 1500,2200,3000
АВМ-15С, 1500	1000,1200 1500	1250,2000 1500,2400 1800,3000	8000,10000 8000,10000 10000 8000,10000
АВМ-20Н,2000	1000 1200 1500 2000	-	1500, 2000 1500, 2400 1800, 3000 2500, 4000
АВМ-20С, 2000	1000 1200	1250,2000 1500,2400 1800,3000	8000,10000 8000,10000 10000 8000,10000

Примечание. Цифрами в типе обозначены: 4 на номинальный ток до 400 А: 10 - до 1000; 15 - до 1500; 20 - до 2000 А; буквами: Н - неизбирательный, С - селективный (избирательный).

Автоматические выключатели серии Э изготавливают для стационарной установки или выдвижными. Выдвижные выключатели дополнительно снабжают тепсельными контактами на выводах главной цепи, рычагами для механической блокировки, колесами для передвижения по рельсам каркаса. Они могут иметь рабочее положение - главная и вспомогательная цепь замкнуты; контрольное - главная цепь разомкнута, а вспомогательная замкнута; ремонтное - главная и вспомогательная цепь разомкнуты. Специальная механическая блокировка препятствует вкатыванию и выкатыванию выключателя при включенном положении.

Расцепители максимального тока имеют полупроводниковый блок защиты. Они исполняются мгновенного и замедленного действия с регулировкой пяти следующих уставок: 1 - на ток срабатывания в пределах (0,8; 1; 1,2; 1,5) $I_{ном.а}$ при перегрузках; 2 - на ток срабатывания 4 $I_{ном.а}$ или 8 $I_{ном.а}$ при КЗ и 12 $I_{ном.а}$ для выключателей, имеющих три первых меньших значения номинального тока в табл. 11.2; 3 - на время срабатывания 100, 150, 200 с при $I_{ном.а}$; 4 - на время срабатывания 4, 10, 20 с при 6 $I_{ном.а}$; 5 - на время срабатывания 0,25; 0,45; 0,7 с при КЗ.

Технические данные автоматических выключателей приведены в табл. 11.2, а семейство защитных характеристик - на рис. 11.6.

Таблица 11.2

Технические данные автоматических выключателей серии "Электрон"

Тип	Номиналь- ный ток, А	Коммутационная способность, кА						Односе- кундная термиче- ская
		переменный ток				постоянный ток		
		380 В		660 В				
		$i_{уд.}$	$I_{откл.а}$	$i_{уд.}$	$I_{откл.а}$	220В	440В	
Э06	600	50	25	35	15	35	25	437
Э10	1000	84	40	70	30	50	40	1100
Э16	1600	84	40	70	30	55	45	1850
Э25	2500	100	45	70	35	55	45	4500
Э40	4000	160	65	104	50	65	55	11500

Примечание. $i_{уд.}$ - электродинамическая стойкость автоматического выключателя; $I_{откл.а}$ - номинальный ток отключения автоматического выключателя.

На электростанциях, подстанциях, на промышленных предприятиях и в быту применяются автоматические выключатели различных конструкций. Ниже рассмотрены конструкции, которые получили наиболее широкое применение.

Автоматические выключатели серии АЗ 700 на токи 160-630 А и напряжение переменного тока до 660 В, постоянного до 440 В выпускаются в пластмассовом корпусе с изолирующими перегородками между полюсами в двух исполнениях:

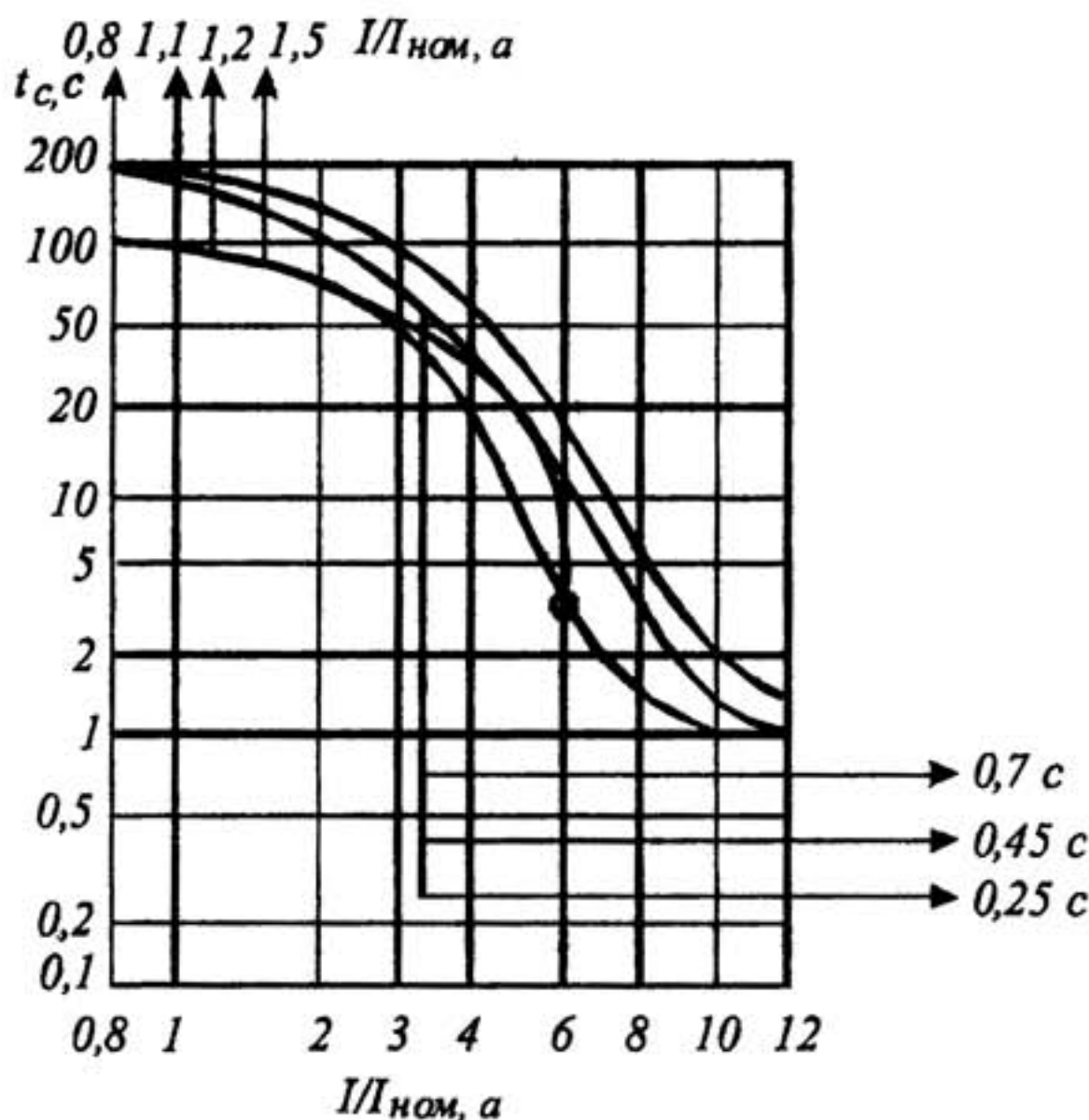


Рис.11.6. Защитные характеристики автоматических выключателей серии "Электрон", приведенные для разных уставок тока срабатывания при перегрузках и КЗ

АЗ 700Б - токоограничивающие с электромагнитными расцепителями мгновенного действия и полупроводниковыми расцепителями; АЗ 700С - селективные с полупроводниковыми расцепителями с регулируемой выдержкой времени. Пределы регулирования: ток срабатывания при перегрузках $1,25I_{ном}$; при КЗ 3-10 $I_{ном}$; время срабатывания при 6 $I_{ном}$ 4-16 с, при КЗ 0,1-0,4 с.

Автоматические выключатели серии АЗ 700 имеют одну пару кон-

тактов на полюс с металлокерамическими накладками. Включение и отключение может производиться вручную рукояткой или электромеханическим приводом в виде отдельного блока, устанавливаемого над крышкой выключателя.

Автоматическое отключение при КЗ производится расцепителем мгновенного действия. Предельный ток отключения 60-110 кА.

Автоматический выключатель *A3 700* изготавливается в стационарном и выдвижном исполнениях и широко применяется в комплектных распределительных устройствах до 1 кВ.

Для получения хороших защитных характеристик в конструкциях выключателя применен блок защиты на полупроводниковых приборах, получающий сигнал от измерительного органа и передающий команду на отключение независимому электромагнитному расцепителю. Выключатели выпускают токоограничивающими и избирательными. Различают два вида токоограничивающих выключателей:

1. С полупроводниковым и электромагнитным расцепителями максимального тока (*A3 710Б - A3 740Б*). На полупроводниковом расцепителе имеется зона регулирования при перегрузках и зона регулирования при КЗ. В первом случае время срабатывания может регулироваться в пределах 4, 8, 16 с, во втором случае при токе срабатывания $(3-10) I_{ном.а}$ выключатель срабатывает без выдержки времени.

2. С электромагнитным расцепителем максимального тока (*A3 7115- A3 7425*). В обоих случаях на электромагнитном расцепителе ток срабатывания установки равен $10 I_{ном.рас}$.

У избирательных автоматических выключателей на полупроводниковом расцепителе имеется зона регулирования тока срабатывания при перегрузке с временем срабатывания 4, 8, 16 с и зона регулирования при КЗ с уставкой тока срабатывания $(3-10) I_{ном.рас}$ и регулированием времени срабатывания 0,1; 0,25; 0,45 с, электромагнитный расцепитель в этом случае отсутствует.

Технические данные автоматических выключателей серии *A3 700* представлены в табл. 11.3.

Кроме автоматических выключателей рассмотренных серий, для защиты электрических цепей от перегрузок и КЗ применяются выключатели *AE-1000*, *AE-2000*, *AK-63*, *A-63*, *AB-45* и др.

Автоматические выключатели серии *AE-1000* выпускают однополюсными с тепловыми расцепителями на номинальные токи 6, 10, 16, 20, 25 А,

Технические данные автоматических выключателей серии АЗ 700

Вид защиты	Тип автоматического выключателя	Номинальный ток, А	Регулируемый номинальный ток полупроводникового устройства защиты, А	Нерегулируемая уставка	
				переменный ток, А	постоянный ток, А
Токоограничивающая	АЗ 710Б	160	20-4040-8080-160	1600	960
			Нет	400 630 1000 1600	6000 750 960
	АЗ 720 Б	250	160 - 250	2500	1500
			Нет	1600 2000 2500	960 1200 1500
	АЗ 73 ОБ	400	160 - 250 250 - 400	4000	2400
			Нет	2500 3200 4000	2400
	АЗ 740Б	630	250 100	6300	3800
			400 - 630		
			Нет	4000 5000 6300	3800
Избирательная	АЗ 730 С	400	160-250 250-400	Нет	Нет
	АЗ 740С	630	250 - 400 400 - 630	Нет	Нет

с электромагнитными расцепителями с отключением без выдержки времени при токах более $18 I_{ном, рас}$ и с комбинированными расцепителями. Основное назначение этих выключателей - защита осветительных сетей.

Серия одно-, двух- и трехполюсных автоматических выключателей АЕ-2000 на токи 25, 63, 100 А с расцепителями максимального тока 0,6 А, с добавочными расцепителями и вспомогательными контактами в разных исполнениях предназначена для применения в промышленности.

Более подробные данные по автоматическим выключателям серии АВМ, ЭО, А63, АК50, АК63, АП50, А31, А37, АЕ представлены в табл. 11.4.

11.2. Выбор автоматических выключателей

При выборе уставок тока срабатывания автоматических выключателей

необходимо учитывать различия в характеристиках и погрешности в работе расцепителей выключателей. Существуют следующие требования к выбору автоматических выключателей:

- номинальное напряжение выключателя не должно быть ниже напряжения сети;
- отключающая способность должна быть рассчитана на максимальные токи КЗ, проходящие по защищаемому элементу;
- номинальный ток расцепителя должен быть не меньше наибольшего расчетного тока нагрузки, длительно протекающего по защищаемому элементу:

$$I_{\text{ном.рас}} \geq I_{p.\text{max}};$$

- автоматический выключатель не должен отключаться в нормальном режиме работы защищаемого элемента, поэтому ток уставки замедленного срабатывания регулируемых расцепителей следует выбирать по условию

$$I_{\text{ном.рас}} \geq (1,1 \div 1,3) I_{p.\text{max}};$$

- при допустимых кратковременных перегрузках защищаемого элемента автоматический выключатель не должен срабатывать, это достигается выбором уставки мгновенного срабатывания электромагнитного расцепителя по условию

$$I_{\text{ном.рас,э}} \geq (1,1 \div 1,3) i_{\text{п}},$$

где $i_{\text{п}}$ определяется так же, как и при выборе предохранителей.

Для обеспечения избирательного действия последовательно установленных автоматических выключателей их защитные характеристики на карте селективности не должны пересекаться, причем ток уставки тока расцепителей замедленного и мгновенного действия у выключателя, расположенного ближе к источнику питания, должны быть больше в 1,5 раза, чем у более удаленного выключателя.

При совместной работе автоматических выключателей, принадлежащих к одной серии, избирательность их действия в результате погрешностей в работе и одинаковых защитных характеристик не обеспечивается. В этом случае применяют выключатели, принадлежащие к разным сериям, или выключатели с избирательными расцепителями.

Расцепители выключателей с уставками, выбранными по условию

Основные технические данные автоматических выключателей

Тип автома- тиче- ского вык- люча- теля	Номи- нальное напря- жение, В	Номи- наль- ный ток, А	Чис- ло по- лю- сов	Вид расцепителя максимального тока		Номина- льные токи расцепи- теля, А	Уставка срабатыва- ния расцепи- теля		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная откло- чающая способ- ность, кА	Вид при- вода	Масса, кг						
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пере- грузки	в зоне КЗ	при токе 1,05 I _{ном}	при токе I _{ном}	к зоне КЗ									
АВМ4	230	400	2	Электро- магнит- ный с часовым замедли- телем	Элект- ромаг- нит- ный	120;150	1,25; 2;5	2;5, 8;11	10		0,25 -0,6	40	Руч- ной, элект- роме- хани- ческий	25-63						
	400;600		3			200;250						42								
АВМ 10	230	750;800; 1000	2			500;600, 800;1000						800;1000 1200; 1500		1,25; 2	5; 8;10 -125	10		0,25 -0,6	40	29-64
	440		3																42	
	400;660		30																	
АВМ 15	230	1150; 1500	2			1000;200, 1500; 2000 (2300)	1,25; 2	4-10	10		0,25 -0,6	45		50-65 111						
	440		3									30								
	400;660											42								
АВМ 20	230	2000 (2300)	2								0,25 -0,6	30		66-84 132 90-108						
	440		3									30								
	400;600											75								

Тип авто- мати- чес- кого вык- люча- теля	Номи- нальное напря- жение, В	Номи- наль- ный ток, А	Чис- ло по- лю- сов	Вид расцепителя максимального тока		Номина- льные токи расцепи- теля, А	Уставка срабаты- вания расцепи- теля		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная отклю- чаю- щая спо- соб- ность, кА	Вид при- вода	Масса, кг					
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пере- грузк и	в зоне КЗ	при токе 1,05 I _{НОМ}	при токе I _{НОМ}	к зоне КЗ								
Э06	220	800; 1000	2	Полу- провод- никовый	Полу- про- вод- нико- вый	250; 400; 630;800		3; 5; 7; 10				35		105					
	400											25							
	380;660		3									60		90					
Э16	440	1600	2					630; 1000; 1600				0,8; 1,25; 2	3; 5;7	100; 150; 200	4;8; 16	0,25; 0,45; 0,7	45	Элек- тро- меха- ничес- кий	260
	660		3			63													

Тип автoма- тиче- ского вык- люча- теля	Номи- нальное напря- жение, В	Номи- наль- ный ток, А	Чис- ло по- лю- сов	Вид расцепителя максимального тока		Номина- льные токи расцепи- теля, А	Уставка срабатыва- ния расцепи- теля		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная откло- чающая способ- ность, кА	Вид при- вода	Масса, кг					
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пере- грузки	в зоне КЗ	при токе 1,05 I _{НОМ}	при токе I _{НОМ}	к зоне КЗ								
Э25	220;440	2500; 3200; 4000	2	Полу- провод- никовый	Полу- про- вод- нико- вый	1600; 2500 (3200)						60	Элек- тро- меха- ниче- ский	254					
	660		3									75							
Э40	440	4000; 5000; 6300	3			2500; 4000; 6300		3;5									55		263- 434
	660																105- 140		
	240		1			1,6;2; 2,5;3,2; 46,3;8; 0;12,5; 16;20;25											14		

Тип авто- мати- ческо- го вык- люча- теля	Номи- наль- ное напря- жение, В	Номи- наль- ный ток, А	Чис- ло по- лю- сов	Вид расцепителя максимального тока		Номи- нальные токи расце- пителя, А	Уставка срабаты- вания расцепи- теля		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная отклю- чаю- щая спо- соб- ность, кА	Вид при- вода	Мас- са, кг
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пере- грузк и	в зоне КЗ	при токе 1,05 I _{НОМ}	при токе I _{НОМ}	к зоне КЗ			
А63	110	25	2	Элект- ромаг- нитный с гидра- вличе- ским замед- лителем сраба- тыва- ния; тепло- вой	Элек- тро- ма- гнит- ный	0,63;0,8; 1;1,25	1,35	1,3; 2;5; 10; 13	Не сраба- тыва- ет	1-20	0,0 5	2,5	Руч- ной	0,2; 0,27
	240		1			1,6;2; 2,5; 3,2;46,3; 8;10; 12,5;16; 20;25			14			3,0		

Тип автoma- тиче- ского выклю- чатeля	Номи- наль- ное напря- жение, В	Номи- наль- ный ток, А	Чис- ло по- лю- сов	Вид расцепителя максимального тока		Номина- льные токи расце- пителя, А	Уставка срабаты- вания расцепи- теля		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная отклю- чающая способ- ность, кА	Вид при- вода	Мас- са, кг
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пере- груз- ки	в зо- не КЗ	при токе 1,05 I _{ном}	при токе I _{ном}	к зо- не КЗ			
AK50	220	50	2	Элект- ромаг- нитный с гидрав- личес- ким замед- лителем сраба- тывания	Элек- тро- маг- нит ный без замед- лителя	0,6;0,8; 1;1,2	-	5	-	3-20	-	4,5	Руч- ной	0,9
	400		2;3			1,5;2; 2,5;4;5; 6;8;10; 12,5;15; 20;25; 30;35; 40;45;50	1,35	5;7; 10	Не сраба- тыва- ет		0,2- 0,4	9(12)		0,9;1, 2
AK63	240 500	63	1,2; 2;3			0,63;0,8; 1;1,25	-	5	-	3-20		3,0-5,0	Руч- ной	0,65; 1,2

Тип автoma- тиче- ского вык- люча- теля	Номи- нальное напря- жение, В	Номи- наль- ный ток, А	Чис- ло по- лю- сов	Вид расцепителя максимального тока		Номина- льные токи расцепи- теля, А	Уставка срабаты- вания расцепи- теля		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная откло- чающая способ- ность, кА	Вид при- вода	Масса, кг
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пере- грузки	в зоне КЗ	при токе 1,05 I _{ном}	при токе I _{ном}	к зоне КЗ			
AK63						1,6;2; 2,5; 3,2;4;5; 6,38;10; 12,5; 16;20; 25;32; 40;50; 63	1,3	3; 14				6,0		1,2; 1,5

Тип авто- мати- ческо- го вык- люча- теля	Номи- наль- ное напря- жение, В	Номи- нальный ток, А	Чис- ло по- лю- сов	Вид расцепителя максимального тока		Номи- нальные токи расце- пителя, А	Уставка срабаты- вания расцепи- теля		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная отклю- чаю- щая спо- собно- сть, кА	Вид при- вода	Масса, кг		
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пере- груз- ки	в зо- нс КЗ	при токе 1,05 I _{ном}	при токе I _{ном}	к зоне КЗ					
АП50	220	50	2		Элект- ромаг- нит- ный	1,6;2,5; 4; 6,4						1-2,5		1		
	500		2-3			10; 16;25; 40;50						3,5; 10		1,5-10	1,53- 4,25	1;1,3
А3160	110	50	1		Тепло- вой	-		15;20; 25;30; 40; 50	1,25		Не сра- ба- ты- вает			3,65		0,48
	220		2													
	380		3													

Тип автoма- тиче- ского вык- люча- теля	Номи- нальное напря- жение, В	Номи- наль- ный ток, А	Чис- ло по- лю- сов	Вид расцепителя максимального тока		Номина- льные токи расцепи- теля, А	Уставка срабатыва- ния расце- пителя		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная откю- чающая способ- ность, кА	Вид при- вода	Масса, кг
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пере- груз- ки	в зоне КЗ	при токе 1,05 I _{ном}	при токе I _{ном}	к зоне КЗ			
А3110 А3120	220	100	2		Элек- тро- маг- нит- ный	15;20;25; 30;40;50; 60;80;100		10				15		2,3; 2,6; 3,6; 4
	220		2;3					До 9				10; 18		
	500					4,5								
	380	60												
А3130	220	200; 220	2			120;150 200;220		6; 7	-			28		6,3; 8,2; 9,3; 14,8
	500		2-3					25						
	380	170; 200						100;170; 200				7		30

Тип авто- мати- ческо- го вык- люча- теля	Номи- нальное напря- жение, В	Номи- нальный ток, А	Чис- ло по- лю- сов	Вид расцепителя максималь- ного тока		Номи- наль- ные токи расце- пителя, А	Уставка срабатыва- ния расцепи- теля		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная отклю- чаю- щая спо- соб- ность, кА	Вид при- вода	Масса, кг
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пере- грузки	в зо- не КЗ	при токе 1,05 I _{ном}	при токе I _{ном}	к зо- не КЗ			
А3140	220	600	2	Тепло- вой	Элек- тро- маг- нит- ный	250;300; 400;500; 600		7	-			50		17,4
	500		2;3									40		17,4; 19,4
А3710	440	160	2	Полу- провод- нико- вый, термо- биме- талли- ческий	Элек- тро- маг- нит- ный	16;20; 25;32; 40;50; 63;80; 110;125; 160	1,15; 1,25	2,5- 6	Не сра- ба- ты- вает			100	Руч- ной, эле- ктро- ме- хани- чес- кий	4,5; 4,9;

Тип авто- мати- ческого вык- люча- теля	Номи- нальное напря- жение, В	Номина- льный ток, А	Чис- ло по- лю- сов	Вид расцепителя максимального тока		Номина- льные токи расцепи- теля, А	Уставка срабатыва- ния расцепи- теля		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная отклю- чающая способ- ность, кА	Вид при- вода	Мас- са, кг
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пере- грузки	в зоне КЗ	при токе 1,05 I _{ном}	при токе I _{ном}	к зоне КЗ			
А3720	440	250	2	Теп- ловой		160; 200; 250	1,15;	2- 10				100		6,3; 6,9;
	380	200	2;3				1,25	3- 10				75 40 30		
	660						1,25	6- 10						
	380					170;200	1,15	10						

Тип авто- мати- ческо- го вык- люча- теля	Номи- наль- ное напря- жение, В	Номи- нальный ток, А	Чис- ло по- лю- сов	Вид расцепителя максимального тока		Номи- нальные токи расце- пителя, А	Уставка срабаты- вания расцепи- теля		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная отклю- чаю- щая спосо- бность, кА	Вид при- вода	Масса , кг		
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пе- рег- руз- ки	в зо- не КЗ	при токе 1,05 I _{НОМ}	при токе I _{НОМ}	к зо- не КЗ					
А3730	440	400	22;3	Тепло- вой	Элект- ромаг- нитный	160-400	1,15; 1,25 1,5	63- 10	Не сра- ба- ты- вает			100 55	Руч- ной, элект- роме- хани- чес- кий	16,2- 18,2; 16,2- 19,7		
	380															
	660															
А3740	400	630	2			250-630		6				3- 10		100	55	21,3- 23,8; 21,3- 26,7
	380		2;3													
	660															

Тип автoма- тиче- ского вык- люча- теля	Номи- нальное напря- жение, В	Номи- наль- ный ток, А	Число полю- сов	Вид расцепителя максимального тока		Номина- льные токи расцепи- теля,А	Уставка срабатывания расцепителя		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная откю- чающая способ- ность, кА	Вид при- вода	Мас- са, кг		
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пере- грузки	в зоне КЗ	При токе 1,05 I _{НОМ}	при токе I _{НОМ}	к зоне КЗ					
АЕ 1000	240	25	1			6;10;16; 25		12- 18				2	Руч- ной	0,16- 0,2		
АЕ 2030	110	25	1;2	Тепло- вой	Элек- тромаг- нитный	0,6; 0,8; 1	1,25	3;12	Не сра- ба- ты- вает			2,5	Руч- ной	0,38; 0,64		
	220		3			1,25; 1,6;						2		0,9		
	220					2;2,5; 3,2; 4; 5;6;8; 10;12,5; 16; 20;25						3				
	380															
	500															

Тип авто- мати- ческого выклю- чателя	Номи- нальное напря- жение, В	Номина- льный ток, А	Чис- ло по- лю- сов	Вид расцепителя максимального тока		Номина- льные токи расцепи- теля,А	Уставка срабатывания расцепителя		Время выдержки (срабатывания), с			Преде- льная отклю- чаю- щая спо- соб- ность, кА	Вид при- вода	Масса, кг												
				в зоне пере- грузки	в зоне КЗ		в зоне пере- грузки	в зоне КЗ	при токе 1,05 I _{НОМ}	при токе I _{НОМ}	к зо- не КЗ															
АЕ 2040	110	63	1;2			10; 12,5; 16;20;25; 32;40;50; 63						5		0,52;												
	220		4									0,96														
	200		6																							
	500		3									5		1,4												
АЕ 2050	110	100	1;2			16;20;25; 32;40;50; 63;80;100			Не сра- баты- вает в тече- ние 2ч	5-20		12			0,9;											
	220		4									1,55														
	220		9																							
	380		6																							
	500		3									5			2,2											

избирательности, должны удовлетворять требованиям чувствительности, которые сводятся к следующему: минимальный ток КЗ (обычно рассматривают однофазное КЗ) в самой удаленной точке защищаемой линии должен быть больше номинального тока расцепителя замедленного срабатывания не менее чем в 3 раза, а для выключателей, имеющих только расцепители мгновенного срабатывания, минимальный ток КЗ в самой удаленной точке линии должен превышать ток уставки мгновенного срабатывания не менее чем в 1,4 раза для выключателей с номинальным током до 100А и в 1,25 раза для всех других выключателей.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.А. Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения.-М.:Высш. шк., 1985.-391 с.
2. Шабад М.А. Расчёты релейной защиты и автоматики распределительных сетей.-Л.: Энергоатомиздат, 1985. -296 с.
3. Гельфанд Я.С. Релейная защита распределительных сетей.- М.: Энергоатомиздат, 1987.-368 с.
4. Натитоков К.К. Аппараты для защиты полупроводниковых устройств. - М. :Энергоатомиздат, 1988.-280 с.
5. Дубинский И.М. Защита низковольтных электродвигателей горного оборудования.-М.:Недра, 1982.-68 с.
6. Руководство по ревизии, наладке и испытанию подземных электроустановок шахт /Под ред. В.В.Дегтярёва.-М.:Недра, 1989.-614 с.
7. Корогодский В.И. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1кВ.-М. :Энергоатомиздат, 1987.-248 с.
8. Гитоян Г.Г. Релейная защита горных электроустановок. - М.: Недра, 1978.-349 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

М.П. ЛАТЫШЕВ С.Д. БАРАНОВ

**ВИДЫ ЗАЩИТ
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

Учебное пособие

Научно-техническая
библиотека КузГТУ

Кемерово 2002

УДК 621.316.9

Рецензенты:

Кафедра электротехники и электрооборудования Кемеровского технологического института пищевой промышленности

Доктор технических наук, главный специалист Института угля и углехимии СО РАН В.Л. Конюх

Латышев М.П. Виды защит электроустановок: Учеб. пособие / М.П. Латышев, С.Д. Баранов; Гос.учреждение. Кузбас. гос. техн. ун-т. - Кемерово, 2002.- 119 с.

ISBN 5-89070-300-5

Описаны виды электрических защит электроустановок промышленных предприятий в соответствии с рабочей программой курса "Электрооборудование промышленных предприятий".

Предназначено для студентов специальности 180400 "Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов" и 100400 "Электроснабжение".

Печатается по решению редакционно-издательского совета Государственного учреждения Кузбасский государственный технический университет.

УДК 621.316.9

© Государственное учреждение
Кузбасский государственный
технический университет, 2002

ISBN 5-89070-300-5

© М.П. Латышев, С.Д. Баранов, 2002

Составители

**МИХАИЛ ПАВЛОВИЧ ЛАТЫШЕВ
СЕРГЕЙ ДЕНИСОВИЧ БАРАНОВ**

**ВИДЫ ЗАЩИТ
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

Учебное пособие

Редактор З.М.Савина

ИД № 06536 от 16.01.02

Подписано в печать 23.12.02. Формат 60х84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 7,00.

Тираж 100 экз. Заказ 945

Государственное учреждение

Кузбасский государственный технический университет.

650026, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография Государственного учреждения

Кузбасский государственный технический

университет.

650099, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
1. АВАРИЙНЫЕ И НЕНОРМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ И ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ.....	6
2. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ЗАЩИТ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ОТ АВАРИЙНЫХ И НЕНОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ.....	7
3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К РЕЛЕЙНЫМ ЗАЩИТАМ.....	9
4. ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ РЕЛЕ.....	11
5. ВРЕМЯ – ТОКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЛЕ.....	12
5.1. Зависимая характеристика реле защиты.....	12
5.2. Ограниченно-зависимая характеристика.....	13
5.3. Независимая характеристика.....	13
5.4. Ограниченно-зависимая характеристика с отсечкой.....	14
6. МАКСИМАЛЬНО-ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ.....	14
6.1. Плавкие предохранители.....	15
6.1.1. Плавкие предохранители типа ПР-2.....	15
6.1.2. Время-токовая характеристика.....	17
6.1.3. Плавкие предохранители типа ПН-2.....	19
6.1.4. Предохранители высоковольтные.....	21
6.1.5. Выбор предохранителей и плавких вставок.....	25
6.1.6. Недостатки плавких вставок.....	26
6.2. Электромагнитные максимально-токовые реле в низковольтных сетях.....	27
6.2.1. Устройство и принцип действия первичных максимально-токовых реле.....	27
6.2.2. Недостатки первичных максимально-токовых реле...	29
6.2.3. Вторичные максимально-токовые реле.....	30
6.2.4. Выбор уставок реле для защиты низковольтных установок.....	36
6.2.5. Недостатки реле.....	36
6.3. Защиты от токов КЗ в высоковольтных сетях.....	37
6.3.1. Максимально-токовая защита (МТЗ).....	37
6.4. Токовая отсечка.....	40
6.5. Направленные токовые защиты.....	44
6.6. Продольная дифференциальная защита параллельных линий...	47

6.7. Поперечная дифференциальная защита параллельных линий.....	48
7. ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОТ ПЕРЕГРУЗОК.....	51
7.1. Защита при помощи тепловых реле.....	51
7.2. Температурная защита.....	54
7.3. Температурная защита при помощи датчиков температуры ДТР-ЗМ.....	56
7.4. Защита от перегрузки при помощи блока ТЗП.....	58
7.5. Защита от перегрузки при помощи реле РТ-40.....	60
8. ЗАЩИТЫ ОТ ПОНИЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ.....	61
8.1. Нулевая защита.....	61
8.2. Минимальная защита.....	64
9. ЗАЩИТА ОТ ОБРЫВА ФАЗ.....	65
9.1. Фильтровая защита.....	67
10. ЗАЩИТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЦЕПЯХ УПРАВЛЕНИЯ КОММУТАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ.....	70
10.1. Защита и контроль непрерывности цепи заземления.....	70
10.2. Защита от потери управляемости.....	71
10.3. Защита от самовключения пускателя при повышении напряжения в сети.....	73
10.4. Электрическая блокировка пускателей от утечки на землю.....	74
10.5. Защита в схемах управления реверсивных пускателей, исключающая одновременное включение контакторов «вперед» и «назад».....	76
10.5.1. Блок дистанционного управления типа БДУ.....	79
10.5.2. Схема дистанционного управления шкафами КРУВ-6.....	81
11. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	85
11.1. Первичные реле прямого действия.....	95
11.2. Выбор автоматических выключателей.....	102
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	118