

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электроэнергетика и электротехника»

**Электрические аппараты в устройствах релейной защиты
систем электроснабжения**

*Методические указания к лабораторным и практическим
занятиям
по дисциплине «Релейная защита и автоматизация систем
электроснабжения»*

Набережные Челны - 2016

УДК 621.311.075.8
ББК 31.19. я 73
С18

Печатается по решению учебно-методической
комиссии отделения энергетики и информатизации
Набережночелнинского института КФУ.

Рецензент: канд. техн. наук **Л.А. Галиуллин.**

Санакулов А.Х., **Фатыхов К.З.**

С18 Электрические аппараты в устройствах релейной защиты систем электроснабжения: методические указания к лабораторным и практическим занятиям по дисциплине «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения» / *А.Х. Санакулов, К.З. Фатыхов.* – Набережные Челны: Издательско-полиграфический центр Набережночелнинского ин-та К(П)ФУ, 2016. – 88 с. : ил. – 29. Библиогр.: 4 назв.

В пособии приведены основные теоретические положения, порядок выполнения лабораторных работ, справочные данные, рассмотрены методы и примеры расчётов релейной защиты.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника», а также может быть использовано для повышения квалификации эксплуатационного персонала систем электроснабжения.

УДК 621.311.075.8
ББК 31.19. я 73

© **Санакулов А.Х., Фатыхов К.З., 2016**
© **Набережночелнинский институт К(П)ФУ, 2016**

Лабораторная работа

Электрические аппараты в устройствах релейной защиты систем электроснабжения

I. Цель работы

1. Изучить основные принципы выполнения релейной защиты и автоматики систем электроснабжения (РЗ и А СЭСН)
2. Изучить устройство, принцип действия, технические характеристики используемых в РЗ и А СЭСН.
3. Разработка упрощенных схем релейной защиты для сетей и оборудования напряжением до 1000В с использованием реле, автоматических выключателей, тепловых реле, предохранителей.

II. Основные теоретические положения

II.1. Основные принципы выполнения релейной защиты

Основными элементами защит в системах электроснабжения являются специальные аппараты-реле. Поэтому защиты, выполненные с использованием реле, получили название релейные защиты (РЗ).

В технике РЗ под реле понимается автоматически действующий аппарат, предназначенный для того, чтобы при заданном значении воздействующей величины, характеризующей определенные внешние явления, производить скачкообразное изменение в управляемых системах (как правило, в электрических цепях управления или сигнализации). На реле, используемые в технике РЗ, воздействуют, в основном, электрические величины, поэтому такие реле называются электрическими.

Структурная схема РЗ содержит следующие основные органы (рис. 1):

- измерительный орган (ИО), непрерывно контролирующий состояние защищаемого объекта и определяющий условия срабатывания (или несрабатывания) в соответствии со значениями параметров электрических сигналов, поступающих на его вход от измерительных преобразователей (ПИ) (трансформаторов тока, напряжения);
- логический орган (ЛО), принимающий от ИО дискретные сигналы, формирующий логические сигналы и подающий выходной сигнал о срабатывании РЗ на управляющий орган (УО);
- управляющий (исполнительный) орган, формирующий на основе сигнала ЛО управляющее воздействие на выключатель Q

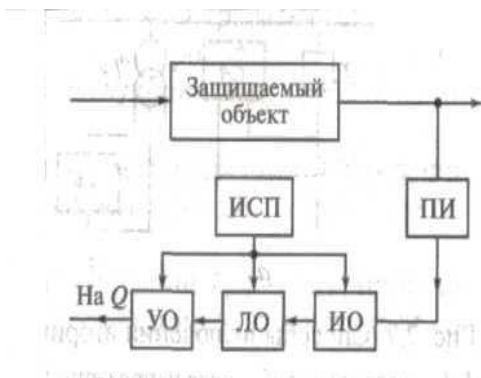


Рис. 1. Структурная схема РЗ защищаемого объекта.

Измерительным органом РЗ являются измерительные реле, которые по роду величины, вызывающей срабатывание, подразделяются на реле тока, напряжения, мощности, частоты и т.д.

Если измерительное реле предназначено для срабатывания при возрастании воздействующей величины, то оно называется максимальным; если же реле должно срабатывать при снижении воздействующей величины, то оно называется минимальным.

По способу подключения воспринимающей части реле к защищаемому объекту реле подразделяются на вторичные, воспринимающая часть которых включается в цепь защищаемого объекта через измерительные трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН), и первичные, у которых воспринимающая часть включается в цепь

защищаемого объекта непосредственно. Вторичные реле изолированы от высокого напряжения (ВН) с помощью ТТ и ТН, располагаются в удобном для обслуживания месте на безопасном расстоянии от оборудования ВН. В этом заключается их преимущество.

Логическим органом РЗ являются логические реле, называемые вспомогательными, в отличие от измерительных реле, которые считаются основными. К логическим реле относятся логические элементы, элементы времени (реле времени), сигнальные элементы (указательные реле).

Источник стабилизированного питания (ИСП) необходим для приведения в действие ЛО и УО, а также для питания ИО.

В контактных схемах в качестве исполнительных элементов для усиления выходных сигналов и размножения сигналов используются промежуточные электромеханические реле, способные замыкать цепь с током до 5... 10 А электромагнитов отключения выключателей.

В РЗ используются четыре элементных базы: электромеханическая, полупроводниковая, интегральная и микропроцессорная, каждая из которых имеет свою область применения.

Релейные защиты подразделяются на основные и резервные. *Основной* называется защита, предназначенная для работы при всех видах КЗ или части из них в пределах всего защищаемого элемента со временем, меньшим, чем у других установленных защит. *Резервной* называется защита, предусматриваемая для работы вместо основной защиты данного элемента при ее отказе или выводе из работы, а также вместо защит смежных элементов при их отказе или отказах выключателей смежных элементов.

Реле реагируют на электрические и неэлектрические величины. Последние косвенным образом характеризуют появление повреждений или аномальных режимов.

Исполнительные реле, реагирующие на электрические величины, можно подразделить на три группы:

- реле, реагирующие на одну электрическую величину (ток или напряжение);
- реле, реагирующие на две электрические величины (ток и

напряжение сети или два напряжения U_I и U_{II} , каждое из которых является линейной функцией тока и напряжения сети);

- реле, реагирующие на три электрических величины или более (например, три тока и три напряжения сети или несколько напряжений, представляющих собой линейные функции токов и напряжения сети).

К первой группе относятся реле тока и реле напряжения, ко второй — однофазные реле (мощности, сопротивления и некоторые другие), к третьей — трехфазные реле мощности, многофазные реле сопротивления и другие устройства.

Способы включения вторичных и первичных реле показаны на рис. 2.

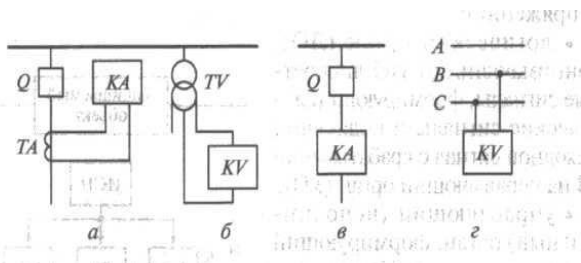


Рис. 2. Способы включения вторичных (*а, б*) и первичных (*в, г*) реле: *KA* — реле тока; *KV* — реле напряжения; *TA* — трансформатор тока; *TV* — трансформатор напряжения; *Q* — выключатель

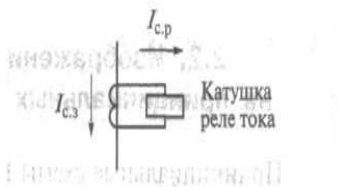
Параметрами РЗ на примере токовой защиты являются (рис. 3):

- ток срабатывания защиты $I_{сз}$ — минимальный ток в фазах защищаемого элемента, при котором защита срабатывает;

- ток срабатывания реле $I_{ср}$ — ток, проходящий в катушку реле при первичном токе, соответствующем току срабатывания защиты;

- ток возврата защиты $I_{вз}$ — максимальный ток в фазах защищаемого элемента, при котором защита приходит в исходное состояние;

- ток возврата реле $I_{в.р}$ (соответствующий $I_{вз}$) — ток, протекающий через катушку реле, когда защита приходит в исходное состояние;



- коэффициент возврата $\kappa_g = I_{в.р}/I_{с.р} = I_{вз}/I_{сз} \sim 0,80...0,85$.

Рис. 3. Ток срабатывания защиты и ток срабатывания реле

Принципиальные схемы РЗ выполняются разнесенными, т.е. на них отдельно изображаются цепи измерительных органов, оперативного тока и цепи сигнализации. Различные элементы реле защиты (например, обмотка и контакты) оказываются при этом изображенными на разных схемах или в различных частях одной и той же схемы.

Положение контактов реле, а также контактов других коммутационных аппаратов на принципиальных схемах РЗ соответствует обесточенному состоянию аппарата. Контакты классифицируют по выполняемым ими функциям в электрических цепях при переходе реле из обесточенного состояния в новое состояние, обусловленное подачей на реле достаточного по значению управляющего воздействия.

В технике РЗ различают контакты:

- замыкающие без выдержки времени, с выдержкой времени на замыкание, с выдержкой времени на размыкание, с выдержкой времени на замыкание и размыкание;
- размыкающие с теми же временными характеристиками;
- переключающие.

Изображения реле и их контактов показаны в табл.1.

Схемы устройств РЗ на чертежах бывают принципиальными, структурными, функциональными и монтажными.










Принципиальная схема показывает принцип действия РЗ или комплекта РЗ. На ней изображаются все реле и связи между ними. Контакты реле показываются на схемах в положении, соответствующем отсутствию тока в обмотках реле. Реле разных типов обозначаются латинскими буквами по международному стандарту следующим образом: реле тока — КА; реле напряжения — КВ; реле времени — КТ; промежуточное реле — КЛ; указательное реле — КН; реле мощности — КМ; реле частоты — КЧ и т.д.

Структурные схемы показывают блоки, из которых состоит устройство и определяют взаимосвязь этих блоков с указанием последовательности их действия.





Функциональные схемы являются более детальными, чем структурные. Они показывают, из каких органов состоит устройство РЗ.

Монтажные схемы предназначены для выполнения монтажных работ.

Таблица 1. Изображения реле и их контактов

Наименование	Обозначение
Обмотка реле	
Контакты замыкающие:	
без выдержки времени	
с выдержкой времени:	
на замыкание	 или 
на размыкание	 или 
на размыкание и замыкание	 или 
Контакты размыкающие:	
без выдержки времени	

Окончание таблицы 1

Наименование	Обозначение
с выдержкой времени: на размыкание	 или 
на замыкание	 или 
на размыкание и замыкание	
Контакты переключающие	
Контакты переключающие без размыкания цепи	
Контакты замыкающие и размыкающие без самовозврата	
Контакты замыкающие кратковременно (импульсные)	
Контакты замыкающие и размыкающие путевого выключателя	

II.2. Общие сведения об аппаратах защиты

Основными элементами классических устройств РЗ и А являются электромеханические реле, работа которых основана на электромагнитном или индукционном принципе. Кроме реле в электрических сетях для защиты также используют плавкие предохранители, тепловые реле, автоматические выключатели, снабженные устройствами токовой защиты. В аппаратах напряжением до 1000 В во многих случаях функции управления и защиты совмещаются в одном общем аппарате (магнитный пускатель, автоматический выключатель). К электрическим аппаратам предъявляются следующие требования:

1. Надежная работа в нормальном рабочем режиме.
2. Безотказное выполнение требуемых функций в предусмотренных ненормальных режимах и быстрое восстановление питания после отключения.
3. Достаточный срок службы.

4. Малые затраты материалов, которые требуются для изготовления.
5. Простота монтажа на месте установки.
6. Простота ухода в эксплуатации и малые эксплуатационные расходы.
7. Компактность.
8. Малый звуковой и световой эффект при работе.

II.2.1. Электромагнитные реле

Принцип действия электромагнитных реле основан на притяжении подвижной стальной системы к электромагниту при прохождении тока по его обмотке.

На рис. 4 представлены три типа конструкции электромагнитных реле, содержащих: электромагнит 1, состоящий из стального магнитопровода и обмотки; стальную подвижную систему (якорь) 2, несущую подвижный контакт 3; неподвижные контакты 5; противодействующую пружину 4.

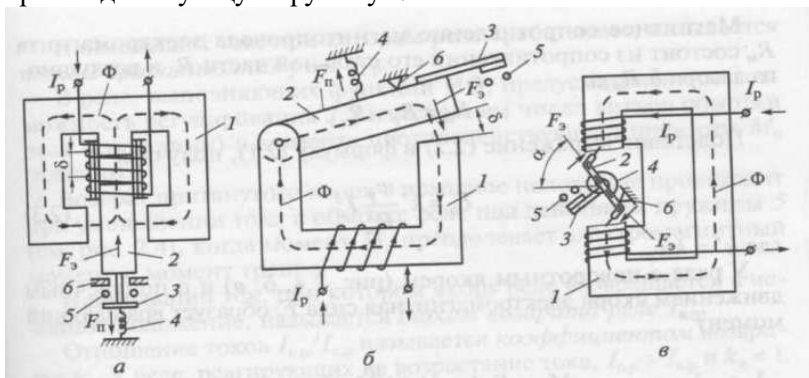


Рис. 4. Типы электромагнитных реле:

a – с втягивающим якорем; *б* – с поворотным якорем; *в* – с поперечным движением якоря; 1 – электромагнит; 2 – якорь, 3 – подвижный контакт; 4 – противодействующая пружина; 5 – неподвижные контакты; 6 – упор

Проходящий по обмотке электромагнита ток I_p создает магнитодвижущую силу (МДС) $w_p I_p$ (где w_p — число витков обмотки), под действием которой возникает магнитный поток

Φ , замыкающийся через магнитопровод электромагнита 7, воздушный зазор δ и якорь 2. Якорь намагничивается, в результате чего появляется электромагнитная сила F_3 , притягивающая якорь к полюсу электромагнита. Если сила F_3 оказывается больше силы F_n сопротивления пружины 4, то якорь приходит в движение и своим подвижным контактом 3 замыкает неподвижные контакты 5 реле. При прекращении тока I_p или уменьшении его до значения, при котором сила F_3 становится меньше силы F_n , якорь возвращается в начальное положение, размыкая контакты 5. Начальное и конечное положения якоря ограничиваются упорами 6.

Электромагнитная сила F_3 , притягивающая стальной якорь к электромагниту и вызывающая движение якоря, пропорциональна квадрату магнитного потока Φ в воздушном зазоре:

$$F_3 = k\Phi^2. \quad (1)$$

Магнитный поток Φ и создающий его ток I_p связаны соотношением

$$\Phi = \frac{I_p w_p}{R_m}, \quad (2)$$

где R_m — магнитное сопротивление пути, по которому замыкается магнитный поток Φ .

Магнитное сопротивление магнитопровода электромагнита R_m состоит из сопротивлений его стальной части R_c и воздушного зазора δ R_{B3} :

$$R_m = R_c + R_{B3}$$

Подставив выражение (2) в формулу (1), получим:

$$F_3 = k' \frac{w_p}{R_m^2} I_p^2, \quad (3)$$

где $k' = kw_p$. У реле с поворотным якорем (рис. 4, б, в) и с поперечным движением якоря электромагнитная сила F_3 образует вращающий момент

$$M_3 = F_3 d_p = d_p k' \frac{w_p}{R_m} I_p^2 = k'' I_p^2, \quad (4)$$

где d_p — плечо силы F_3 .

Из выражений (3) и (4) следует, что сила притяжения F_3 и ее момент M_3 пропорциональны квадрату тока I_p в обмотке реле и, следовательно, имеют постоянное направление, не зависящее от знака (направления) этого тока. Поэтому электромагнитный принцип пригоден для выполнения реле как постоянного, так и переменного тока. Он широко используется для изготовления измерительных реле тока, напряжения и вспомогательных реле логического органа: промежуточных, сигнальных и реле времени.

При перемещении якоря электромагнитного реле в сторону срабатывания уменьшается воздушный зазор δ (см. рис. 4), а значит, и сопротивление R_m . Уменьшение R_m при постоянстве тока в реле вызывает увеличение магнитного потока Φ [формулы (1) и (3), что обуславливает возрастание F_3 и M_3 [см. формулу (4)].

У реле с поперечным движением якоря и втягивающимся якорем сила (момент), противодействующая движению подвижной части реле, создается усилием (моментом) пружины ($F_{п}$ и $M_{п}$), силой (моментом) трения ($F_{т}$ и $M_{т}$) и силой тяжести подвижной системы. При движении якоря на замыкание контактов $F_{п}$ и $M_{п}$ увеличиваются с уменьшением δ по линейному закону, сила трения $F_{т}$ остается неизменной.

Реле начинает действовать, когда

$$F_3 = F_{п} + F_{т}.$$

Наименьший ток, при котором реле срабатывает, называется *током срабатывания реле* $I_{ср}$.

В реле, выполняющих функции ИО, предусматривается возможность регулирования $I_{\text{ср}}$ изменением числа витков обмотки реле (ступенями) и момента противодействующей пружины $M_{\text{п}}$ (плавно).

Возврат притянутого якоря в исходное положение происходит при уменьшении тока в обмотке реле под действием пружины 5 (см. рис. 4), когда момент $M_{\text{п}}$ преодолевает электромагнитный момент и момент трения.

Наибольший ток, при котором якорь реле возвращается в исходное положение, называется *током возврата реле* $I_{\text{вр}}$.

Отношение токов $I_{\text{вр}}/I_{\text{ср}}$ называется *коэффициентом возврата* $\kappa_{\text{в}}$. У реле, реагирующих на возрастание тока, $I_{\text{ср}} > I_{\text{вр}}$ и $\kappa_{\text{в}} < 1$. У реле, реагирующих на снижение тока $I_{\text{в}}$, $\kappa_{\text{в}} > 1$ так как $I_{\text{вр}} > I_{\text{ср}}$. Величина $\kappa_{\text{в}}$ у различных конструкций реле колеблется в широких пределах — от 0,10 до 0,98.

II.2.1.1. Электромагнитные реле тока

При включении обмотки реле на ток сети непосредственно или через ТТ его электромагнитный момент реле $M_{\text{э}} = \kappa I_{\text{с}}^2$. Такое реле называется *токовым*, так как его поведение определяется током сети $I_{\text{с}}$, значение которого не зависит от сопротивления обмотки реле.

К измерительным токовым реле предъявляются следующие требования:

- минимальное потребление мощности для уменьшения нагрузки на ТТ;
- приближение коэффициента возврата $\kappa_{\text{в}}$ к единице для повышения чувствительности РЗ;
- надежное замыкание управляемой цепи контактами реле;
- термическая и динамическая стойкость обмоток реле.

Конструкция токового электромагнитного реле РТ-40 показана на рис. 5. На якоре 2 электромагнита 4 закреплен подвижный контакт 1 в виде мостика, замыкающего неподвижные контакты при срабатывании реле. Для гашения вибрации контактной системы

на якоре 2 укреплен барабанчик с кварцевым песком. Ток срабатывания реле регулируется плавно противодействующей пружиной 6, а также параллельным или последовательным соединением обмоток 3, 5 реле между собой.

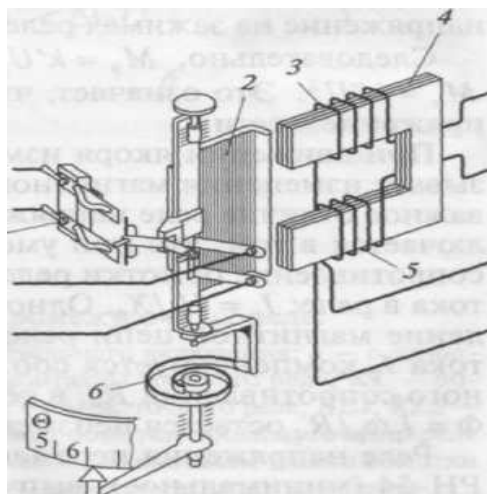


Рис. 5. Токовое электромагнитное реле РТ-40:
1 — подвижный контакт; 2 — якорь; 3, 5 — обмотки; 4 — электромагнит; 6 — пружина

Реле тока РТ-40, выпускаемое Чебоксарским электроаппаратным заводом (ЧЭАЗ), имеет следующие параметры:

Потребляемая мощность при минимальной уставке, В·А.....	0,2...8,0
Коэффициент возврата	0,80...0,85
Собственное время срабатывания реле при $I_p \geq 3I_{cp}$, с	0,03
Ток срабатывания реле, А	0,05...200,0

П.2.1.2. Электромагнитные реле напряжения

Реле напряжения РН-50 похоже по конструкции на реле тока РТ-40. Отличие заключается в том, что реле напряжения не имеет механического гасителя вибрации якоря.

Включая обмотку реле на напряжение сети непосредственно или через ТН, получают реле, реагирующее на напряжение сети U_c .

Действительно, $M_s = kI_p^2$, но ток реле $I_p = U_p/Z_p$, где: U_p — напряжение на зажимах реле; Z_p — сопротивление обмотки реле.

Следовательно, $M_s = k'U_p^2$, а с учетом того, что $U_p = U_c/k_{ТН}$, $M_s = k''U_c^2$. Это означает, что поведение реле определяется напряжением сети.

При движении якоря изменение воздушного зазора δ не вызывает изменения магнитного потока и силы F_s . В этом состоит важное отличие реле напряжения от токовых реле. Причина заключается в том, что при уменьшении δ возрастает индуктивное сопротивление обмотки реле $X_p = \omega_p L$, вызывающее уменьшение тока в реле: $I_p = U_p/X_p$. Одновременно уменьшается и сопротивление магнитной цепи реле R_M . При этом влияние изменения тока I_p компенсируется соответствующим изменением магнитного сопротивления R_M , в результате чего магнитный поток реле $\Phi = I_p \omega_p / R_M$ остается неизменным.

Реле напряжения переменного тока РН-53 (максимальное) и РН-54 (минимальное), конструктивно выполнены так же, как и реле РТ-40. Для уменьшения вибрации контактов обмотка реле включается на напряжение U_p через выпрямитель и имеет большое активное сопротивление.

У РН-53 коэффициент возврата $k_g > 0,8$, у РН-54 $k_g < 1,25$. Уставки реле напряжения регулируются с помощью поводка, изменяющего натяжение противодействующей пружины, а также путем включения одного или двух дополнительных резисторов в цепь обмотки реле, что изменяет предел шкалы уставок в 2 раза.

II.2.1.3. Промежуточные электромагнитные реле

Промежуточные реле являются вспомогательными и применяются для выполнения логических операций, не требующих выдержки времени, или при необходимости относительно малой задержки. Такие реле используются, когда необходимо одновременно замыкать или размыкать несколько независимых цепей или когда требуются реле с мощными контактами для замыкания и размыкания цепей с большими токами.

Схемы включения промежуточных реле приведены на рис. 6. По способу включения промежуточные реле подразделяются на реле параллельного (рис. 6, *а*) и последовательного (рис. 6, *б*) включения.

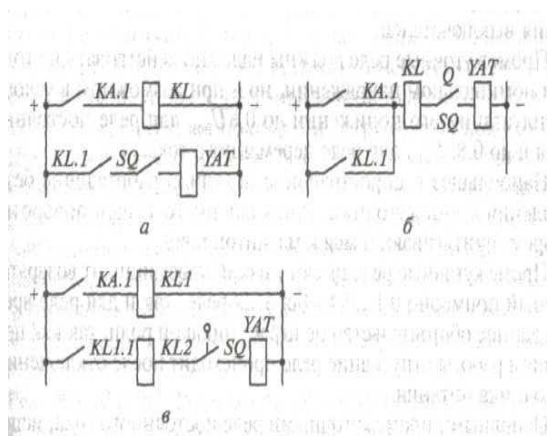


Рис. 6. Схемы включения промежуточных реле:

а — параллельного включения; *б* — последовательного включения; *в* — с дополнительной удерживающей катушкой; *KA* — контакты токового реле; *KL* — обмотка промежуточного реле; *KL.1* — контакты промежуточного реле; *KL1, KL2* — соответственно параллельная и последовательная обмотки промежуточного реле с дополнительной удерживающей катушкой; *KL1.1* — контакты в цепи обмотки *KL2*; *SQ* — контакты выключателя; *YAT* — электромагнит отключения

Обмотки первых включаются на полное напряжение источника питания, а вторых — на ток цепи последовательно с катушкой электромагнита отключения YAT выключателя либо какого-нибудь другого аппарата или реле.

Кроме того, выпускаются реле с дополнительными удерживающими катушками, например, реле параллельного включения с удерживающей обмоткой, включаемой последовательно в управляемую контактами реле цепь (рис. 6, в). Такое реле, сработав от кратковременного импульса, поданного в параллельно включенную обмотку $KL1$, остается после исчезновения импульса в сработавшем состоянии под действием тока удержания до тех пор, пока не отключится выключатель Q . Контакты $KL1$ замыкаются, когда обмотка $KL1$ получает питание, и затем удерживаются в замкнутом положении обмоткой $KL2$ до отпадания контактов SQ выключателя Q .

Потребляемая обмотками реле параллельного включения мощность не должна превышать 6 Вт, чтобы их цепь могли замыкать и размыкать реле с маломощными контактами.

Мощность, потребляемая обмотками реле последовательного включения, выбирается из условия минимального падения напряжения на сопротивлении обмотки этого реле, которое допускается не более 5...10% номинального напряжения источника оперативного тока.

Мощность контактов должна быть достаточной для замыкания и размыкания цепей РЗ, а также для замыкания цепей управления выключателей.

Промежуточные реле должны надежно действовать не только при номинальном напряжении, но и при возможном в условиях эксплуатации его понижении до $0,8U_{ном}$ для реле постоянного тока и до $0,85 U_{ном}$ для реле переменного тока.

Наибольшее распространение получили работающие без замедления промежуточные реле клапанного типа с поворотным якорем, притягиваемым к магнитопроводу.

Промежуточные реле имеют низкий коэффициент возврата $k_{в}$, равный примерно 0,1 ...0,4. Для этих реле, как и для реле

времени, данное обстоятельство не играет никакой роли, так как по условиям работы отпускание реле происходит после отключения от источника питания.

Основными промежуточными реле постоянного тока, используемыми в схемах РЗ, являются реле РП-23, время действия которых составляет около 60 мс, быстродействующие реле РП-220 с временем действия около 10 мс и реле с замедлением на срабатывание или возврат РП-250. Напряжение срабатывания этих реле составляет около $0,7 U_{ном}$, а возврата — $(0,03..0,05 U_{ном})$ (за некоторыми исключениями). Быстродействие реле РП-220 достигается за счет некоторого облегчения конструкции и включения последовательно с катушкой реле добавочного резистора, резко снижающего постоянную времени реле, т.е. обеспечивающего быстрое нарастание тока, а следовательно, магнитного потока и усилия реле.

В реле РП-250, наоборот, принимаются меры для снижения скорости нарастания потока после подачи напряжения, если необходима задержка на срабатывание, или для снижения скорости спадания потока после снятия напряжения, если необходима задержка на возврат.

Промежуточное реле РП-23 (рис. 7) состоит из электромагнита 1 с обмоткой 2, якоря 11 с хвостовиком 10, неподвижных контактов 8, подвижной контактной системы 7, возвратной пружины 6, упора 9, регулировочной пластины 4. Все элементы реле крепятся на цоколе 5 и закрываются кожухом 3.

При подаче напряжения на обмотку реле якорь 11 притягивается электромагнитом и хвостовиком 10 перемещает вниз подвижную контактную систему 7, переключающую контакты реле.

Аналогичное устройство у промежуточного реле РП-25, предназначенного для работы на переменном оперативном токе. Для предотвращения вибрации подвижной контактной системы это реле имеет короткозамкнутый виток на сердечнике электромагнита.

Реле РП-23 и РП-25 имеют по пять контактов, которые можно использовать в различных комбинациях. Время срабатывания этих реле составляет около 0,06 с.

Реле РП-23 изготавливаются на напряжения 24, 48, 110 ПО и 220 В; реле РП-25 — на 100, 127 и 220 В. Потребляемая мощность у реле РП-23 составляет около 6 Вт, у реле РП-25 — не более 10 В А.

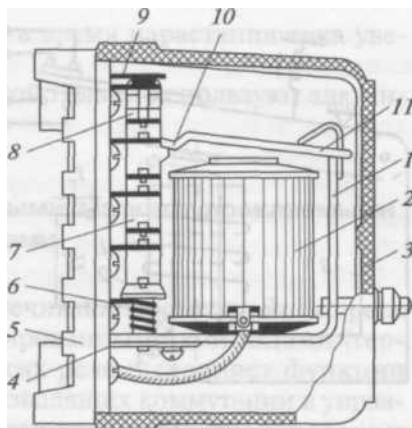


Рис. 7. Промежуточное реле РП-23:

1 — электромагнит; 2 — обмотка; 3 — кожух; 4 — регулировочная пластина; 5 — цоколь; 6 — возвратная пружина; 7 — подвижная контактная система; 8 — неподвижные контакты; 9 — упор; 10 — хвостовик якоря; 11 — якорь

Кроме того, выпускаются промежуточные реле РП-16, РП-17, РП-18 с немного измененными конструкциями магнитопровода и контактной системы, обеспечивающими меньшую материалоемкость. Их основные параметры аналогичны параметрам реле РП-23, РП-220 и РП-250.

Поскольку промежуточные реле имеют низкий коэффициент возврата, их работа на выпрямленном напряжении практически не отличается от работы на

постоянном напряжении, если время срабатывания реле не менее 10 мс.

В схемах РЗ находят применение промежуточные реле РП-321 и РП-341, работающие на переменном оперативном токе. Их обмотки включаются во вторичные цепи ТТ. Реле имеют контакты, рассчитанные на коммутацию больших переменных токов (100...150 А).

К числу быстродействующих реле со временем действия 0,01 с относятся реле РП-210...РП-215.

Для выполнения логических функций в комплектах защиты довольно широко используются кодовые реле типа КДР. Они выпускаются без кожуха и имеют приблизительно такую же конструкцию, как реле РП-250, но значительно менее мощную контактную систему, что позволяет получать большее быстродействие для реле без выдержки времени (около 0,01 с) и большее время действия для реле с задержкой. Кроме того, кодовые реле имеют существенно меньшую потребляемую мощность (не более 3 Вт).

В схемах РЗ применяются промежуточные реле с замедлением на срабатывание (на замыкание или размыкание контактов). На магнитопроводе 3 таких реле (рис. 8) установлен дополнительный короткозамкнутый контур 2, выполненный из медных шайб или медной цилиндрической гильзы. Поверх контура намотана основная обмотка 1. При включении обмотки 1 на напряжение U_p магнитный поток Φ_1 в магнитопроводе реле устанавливается не сразу. В момент включения в контуре 2 возникает ток I_2 , создающий магнитный поток Φ_2 , который противодействует нарастанию тока в обмотке 1. В результате этого скорость нарастания тока в обмотке реле уменьшается, а время нарастания тока увеличивается.

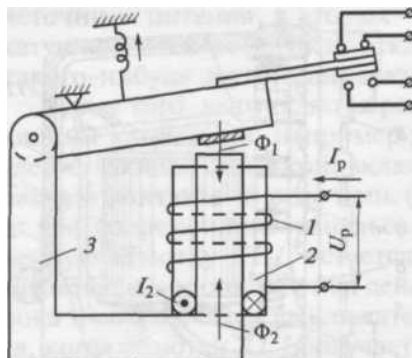


Рис. 8. Принцип устройства промежуточного реле с замедлением на срабатывание:

1 — обмотка; 2 — короткозамкнутый контур; 3 — магнитопровод

В настоящее время вместо медной гильзы используют алюминиевую в целях экономии меди.

II.2.1.4. Реле с герметизированными магнитоуправляемыми контактами

Большое быстродействие обеспечивают промежуточные реле с магнитоуправляемыми герметизированными контактами (герконами). Контактная система таких реле выполняет функции подвижного якоря, контактов, производящих коммутации в управляемой цепи, а также противодействующей пружины.

Обмотка 1 замыкающего геркона (рис. 9) не имеет стального магнитопровода. Магнитный поток, создаваемый обмоткой, замыкается в основном по воздуху. Внутри обмотки (в ее магнитном поле) находятся магнитоуправляемые контакты 2, выполненные из ферромагнитного материала в виде гибких пластин, обладающих хорошими магнитной проницаемостью, электропроводностью и упругостью. Пластины заключены в

герметичный стеклянный корпус 3 и впаяны одним из концов в его торцы. Другой конец каждой из пластин выполняет функцию контакта реле и покрыт обычно серебром. Нормально контакты 2 разомкнуты. При подаче тока в обмотку возникает магнитный поток. Ферромагнитные контакты намагничиваются и под действием электромагнитной силы $F_s = k\Phi^2 = k'I_p^2$ притягиваются друг к другу, замыкая управляемую ими цепь. При исчезновении тока контакты размыкаются под действием механической силы, обусловленной упругостью контактных пластин.

Геркон имеет малые размеры: его длина составляет 30... 50 мм, диаметр стеклянной колбы — 3...5 мм, а зазор между пластинами — десятые доли миллиметра. Поскольку контакты находятся в вакууме или инертном газе, их характеристики лучше, чем у контактов обычных электромагнитных реле. Они обеспечивают надежную коммутацию даже очень малых токов при небольших напряжениях.

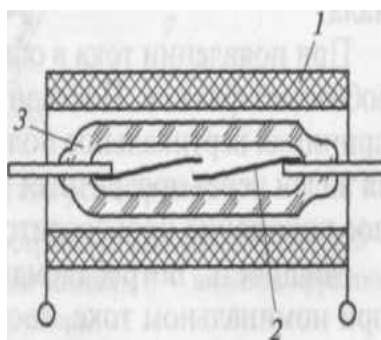


Рис. 9. Конструкция замыкающего магнитоуправляемого контакта:

1 — обмотка; 2 — магнитоуправляемые контакты; 3 — стеклянный корпус

Подвижная система реле с герконами малоинерционна. Герконы очень чувствительны к форме кривой тока в катушке, поэтому такие реле работают, как правило, при постоянном напряжении или выпрямленном сглаженном напряжении с пульсацией не более 6 %.

Малая инерционность подвижной системы позволяет получать высокое быстродействие реле с герконами, определяемое практически только скоростью нарастания тока в катушке. Реле РПГ-2 и РПГ-5, получившие наибольшее распространение в устройствах релейной защиты имеют конструкцию, показанную на рис. 9. Время их срабатывания — не более 1 мс, что приемлемо для быстродействующих устройств защиты. При этом потребляемая мощность реле относительно мала. Для реле РПГ-2 с одним замыкающим контактом она составляет 0,15 Вт, с двумя — 0,3 Вт, с тремя — 0,4 Вт; для реле РПГ-5 с одним контактом — 0,25 Вт, а с двумя — 0,4 Вт.

Реле РПГ-2 рассчитаны на коммутацию цепей напряжением до 24 В и с током до 0,15 А. Они выполняются только с замыкающими контактами типа КЭМ-2. Реле РПГ-5 коммутируют цепи напряжением 220 В постоянного тока с током до 0,03 А. Они имеют один-два замыкающих контакта типа КЭМ-1 или один размыкающий контакт.

II.2.1.5. Электромагнитные указательные реле

Указательные реле предназначены для фиксации действия РЗ. Наиболее распространенными указательными реле являются изготавливаемые ЧЭАЗ реле постоянного тока типа РУ-21. Они выпускаются на широкий диапазон токов и напряжений.

Указательные реле могут включаться как последовательно с элементом, на который воздействует защита, так и параллельно ему. При параллельном включении указательное реле контролирует правильность функционирования защиты, а

при последовательном, кроме того, — исправность цепи контролируемого элемента. Основным требованием к указательным реле является сохранение информации о факте их срабатывания после снятия сигнала.

При появлении тока в обмотке якорь реле притягивается и освобождает флажок. Последний падает под действием своего веса, принимая вертикальное положение. При этом флажок становится виден через прозрачный кожух реле. Возврат флажка в исходное положение производится кнопкой.

Мощность, потребляемая токовым указательным реле РУ-21 при номинальном токе, составляет около 0,25 Вт, а реле, включаемых в цепи напряжения, при номинальном напряжении — около 1,5...2,0 Вт. Время срабатывания реле — не менее 50 мс.

Выпускаются и другие типы указательных реле, например, ЭС, выполняющие те же функции.

II.2.1.6. Электромагнитные реле времени

Реле времени предназначены для создания выдержки времени в схемах РЗ, т.е. для замедления действия устройств РЗ при передаче сигналов к другим реле логической части. Выдержка времени представляет собой время, проходящее с момента подачи напряжения на обмотку реле времени до замыкания его контактов.

Основным требованием, предъявляемым к реле времени, является точность. Для реле со шкалой до 3,5 с погрешность времени действия не должна превышать $\pm 0,06$ с, а со шкалой 20...30 с — $\pm 0,25$ с.

Реле времени на постоянном токе должно надежно срабатывать начиная с напряжения $0,80U_{ном}$, а на переменном токе — с $0,85 U_{ном}$. Выдержка времени не должна зависеть от возможных колебаний оперативного напряжения. Мощность, потребляемая обмотками электромагнитных реле времени, составляет 20...30 Вт или $60 В \cdot А$ и более.

Отечественной промышленностью выпускаются различные типы реле времени. Среди них наиболее широкое применение находят реле времени переменного тока с часовым механизмом, конструкция которого показана на рис. 10.

При появлении тока в обмотке 1 якорь 2 мгновенно притягивается, освобождая рычаг 6 с зубчатым сегментом 5. Под действием ведущей пружины 8 рычаг 6 приходит в движение, которое не является свободным, так как замедляется специальным устройством выдержки времени 4. Через некоторое время t_{cp} , зависящее от расстояния l (или угла α) и угловой скорости движения ω_p рычага 6, последний, переместившись на угол α , замыкает контакты 3 реле. Таким образом, реле срабатывает с выдержкой времени $t_{cp} = \alpha/\omega_p$.

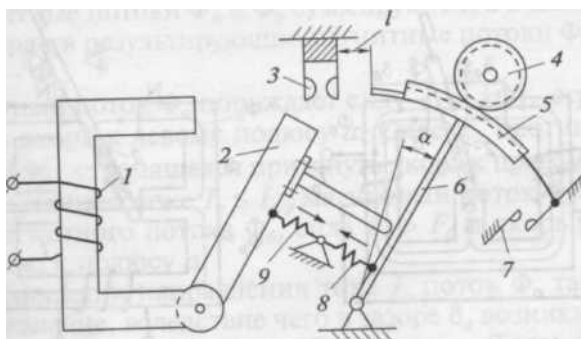


Рис. 10. Принцип устройства реле времени:
 1 — обмотка; 2 — якорь; 3 — контакты; 4 — устройство выдержки времени; 5 — зубчатый сегмент; 6 — рычаг; 7 — мгновенный контакт; 8 — ведущая пружина; 9 — возвратная пружина

Основным элементом часового механизма является анкерное устройство. При исчезновении тока в реле якорь и рычаг 6 должны мгновенно возвратиться в начальное положение под действием возвратной пружины 9. Это

обеспечивается с помощью храпового механизма или фрикционного устройства, обладающих свободным расцеплением при обратном ходе сегмента 5.

Регулирование выдержки времени осуществляется изменением угла α путем перемещения контактов 3 реле. В некоторых конструкциях предусматривается мгновенный контакт 7, позволяющий замыкать цепь с малой, обычно нерегулируемой, выдержкой времени (около 0,15...0,20 с).

Для уменьшения размеров реле катушка реле времени не рассчитывается на длительное прохождение тока. Поэтому реле, предназначенные для длительного включения под напряжение, выполняют с добавочным резистором R_g , включаемым последовательно с обмоткой реле. Нормально резистор R_g зашунтирован размыкающим мгновенным контактом реле. После срабатывания реле этот контакт размыкается, вводя резистор R_g в цепь обмотки реле, что ограничивает проходящий в ней ток до значения, допустимого по условиям нагрева и достаточного для удержания реле в сработавшем состоянии.

Основными недостатками реле рассмотренной конструкции являются значительная потребляемая мощность, а также возможность отказа, поскольку при КЗ напряжение оперативного переменного тока может оказаться меньше напряжения срабатывания.

Отечественные заводы выпускают реле времени постоянного (РВ-110, РВ-120, РВ-130, РВ-140) и переменного (РВ-210, РВ-220, РВ-230) тока. Ежегодно появляются новые типы реле на различной элементной базе.

II.2.1.7. Электромагнитные поляризованные реле

Поляризованные реле широко применяются в схемах РЗ. В отличие от рассмотренных электромагнитных реле якорь поляризованного реле находится под воздействием двух магнитных потоков, из которых один создается током,

питающим обмотку реле, а второй — постоянным магнитом. Магнитный поток обмотки называется рабочим, а постоянного магнита — поляризующим. Поляризованные реле выполняются в двух вариантах: с дифференциальной (рис. 11, *a*) и мостовой (рис. 11, *б*) магнитными системами. При дифференциальной системе (см. рис. 11, *a*) поляризующий магнитный поток Φ_{Π} выходит из полюса N и разветвляется на две части: $\Phi_{\Pi a}$ и $\Phi_{\Pi б}$. Обмотка 1, обтекаемая током I_p , создает рабочий поток Φ_p .

Для простоты рассмотрения часть магнитного потока, ответвляющуюся через якорь 2, учитывать не будем. В воздушном зазоре δ_a магнитные потоки Φ_{Π} и Φ_p суммируются, а в зазоре δ_b вычитаются, образуя результирующие магнитные потоки $\Phi_a = \Phi_{\Pi a} + \Phi_p$ и $\Phi_b = \Phi_{\Pi б} - \Phi_p$.

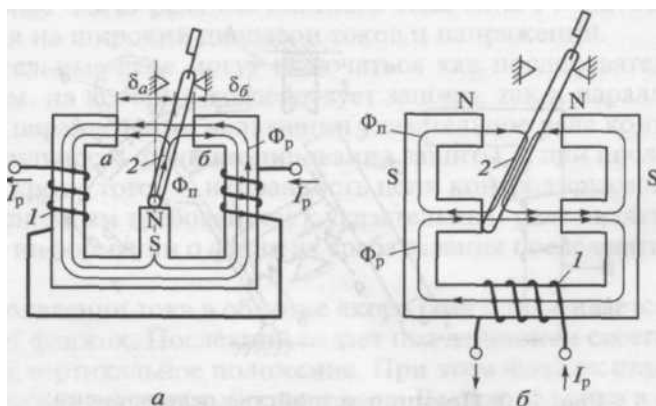


Рис. 11. Принцип устройства поляризованных реле: *a* — с дифференциальной магнитной системой; *б* — с мостовой магнитной системой; 1 — обмотка; 2 — якорь

При дифференциальной системе (см. рис. 11, *a*) поляризующий магнитный поток Φ_{Π} выходит из полюса N и

разветвляется на две части: $\Phi_{на}$ и $\Phi_{нб}$. Обмотка I , обтекаемая током I_p , создает рабочий поток Φ_p .

Магнитный поток Φ_a порождает силу $F_a = \kappa\Phi_a^2$, стремящуюся притянуть якорь к левому полюсу a . Силе F_a противодействует сила $F_b = \kappa\Phi_b^2$, стремящаяся притянуть якорь к правому полюсу b . При определенном токе $I_p < I_{ср}$ магнитный поток Φ_a становится больше магнитного потока Φ_b , сила $F_a > F_b$ и якорь реле отклоняется влево к полюсу a .

При изменении направления тока I_p поток Φ_p также меняет свое направление, вследствие чего в зазоре δ_a возникает разность магнитных потоков, а в зазоре δ_b их сумма. Тогда при $I_p > I_{ср}$ поток $\Phi_b > \Phi_a$, сила $F_b > F_a$ и якорь реле отклоняется вправо. Таким образом, благодаря наличию поляризующего потока реле становится направленным и реагирует не только на величину тока, но и на его направление.

При питании реле переменным током якорь реле вибрирует, следуя за изменением направления тока. По этой причине поляризованные реле не пригодны для работы на переменном токе.

Поляризованные реле обладают следующими преимуществами:

- высокая чувствительность и малая потребляемая мощность, достигающая при минимальном токе срабатывания и зазоре между контактами около 0,5 мм примерно 0,005 Вт;
- большой ток термической стойкости, равный $(20...50)I_{срmin}$ (у обычных электромагнитных реле этот ток не превышает $1,5 I_{срmin}$);
- малое время срабатывания, которое достигает 0,005 с.

Недостатками поляризованных реле являются малая мощность контактов, небольшой зазор между ними (от 0,1 до 0,5 мм) и невысокий коэффициент возврата.

II.2.2. Индукционные реле

Работа индукционных реле основана на взаимодействии переменных магнитных полей неподвижных обмоток с токами, индуцированными этими полями в подвижной системе реле (диске или цилиндрическом роторе). Поэтому на

индукционном принципе могут выполняться лишь реле переменного тока. По такому принципу создаются измерительные реле тока и реле направления мощности.

Непрерывным условием получения вращающего момента на подвижной части индукционной системы является наличие не менее двух магнитных потоков (Φ_1 и Φ_2), сдвинутых в пространстве (рис. 12). Возникающий при этом вращающий момент

$$M_{вр} = k \Phi_1 \Phi_2 \sin \psi \quad (5)$$

Таким образом, для получения вращающего момента необходим также сдвиг по фазе между потоками на угол ψ .

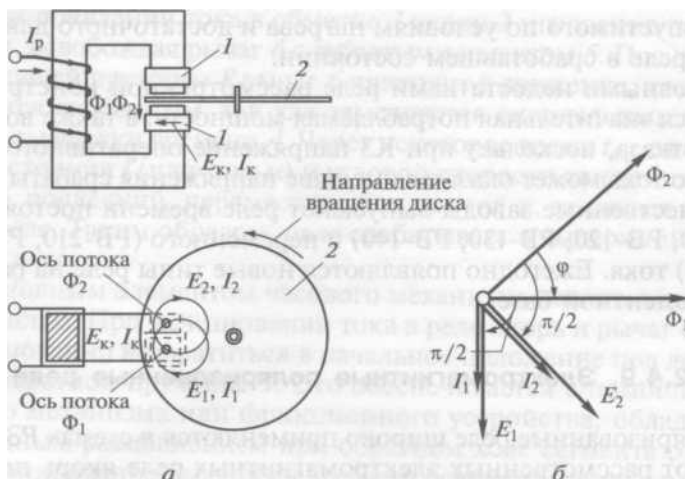


Рис. 12. Конструктивная схема (а) и векторная диаграмма (б) индукционного реле тока:

1-короткозамкнутый виток; 2 - диск

Два магнитных потока, смещенных в пространстве и по фазе, можно получить, в частности, с помощью медных короткозамкнутых витков 1, надеваемых на верхнюю и

нижнюю части магнитопровода. Потоки Φ_1 и Φ_2 обусловлены током I_p в обмотке реле. В ненасыщенной магнитной системе они пропорциональны току. Так как угол ψ не меняется при изменении тока, то вращающий момент

$$M_{вр} = k I_p^2$$

Когда диск 2 неподвижен, в нем индуцируются только ЭДС трансформации E_1 и E_2 , которые и обуславливают вращающий момент $M_{вр}$. Во вращающемся диске наряду с ЭДС трансформации появляются также ЭДС резания, вызванные пересечением магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 вращающимся диском. Эти ЭДС создают в диске токи, которые при взаимодействии с вызвавшими их потоками обуславливают появление тормозных моментов $M_{трм}$, пропорциональных частоте вращения диска и зависящих от магнитных потоков. На подвижную систему реле действует также тормозной момент пружины $M_{п}$ и момент инерции $M_{ин}$. Без учета момента трения движение диска определяется условием

$$M_{вр} = M_{трм} + M_{п} + M_{ин}$$

Для получения реле замедленного действия их снабжают постоянными магнитами, а подвижную систему выполняют в виде диска. При вращении диск пересекает поле постоянного магнита, в результате чего возникает дополнительный тормозной момент. Такие реле имеют ограниченно зависимую от тока характеристику выдержки времени. В ее независимой части удается получить выдержки времени $t_{ср} > 10$ с.

Индукционные реле мгновенного действия выполняются без постоянных магнитов и с минимальным ходом подвижной системы. Для повышения быстродействия реле используются системы с цилиндрическим ротором, который имеет малые диаметр и момент инерции, в то время как системы с диском имеют большой момент инерции за счет значительного диаметра диска.

II.2.2.1. Индукционные измерительные реле тока

Эти реле являются комбинированными и состоят из двух элементов: индукционного с диском, создающего ограниченно зависимую выдержку времени, и электромагнитного (отсечки) мгновенного действия, срабатывающего при большом токе в обмотке реле. Оба элемента используют одну общую магнитную систему. Реле предназначены для защиты электрических машин, трансформаторов и линий при перегрузке и КЗ.

Индукционный элемент реле РТ-80 состоит из электромагнита 1 (рис. 13, *а*) с короткозамкнутыми витками 2 и подвижного диска 7. При появлении тока в обмотке 20, имеющей отпайки, возникает электромагнитная сила, действующая на диск 7, который вращается на оси в подшипниках, установленных на подвижной рамке 11. Рамка 11 имеет ось вращения 6, укрепленную на корпусе реле. Пружина 5 притягивает рамку к упору 4. На ось диска насажен червяк 10, вращающийся вместе с осью и диском. Червяк 10 и зубчатый сегмент 9, управляющий работой контактов 14 реле, нормально расцеплены. Для действия реле необходимо, чтобы червяк сцепился с зубчатым сегментом и поднял его до замыкания контактов реле.

На подвижную систему (рамку и диск) действует электромагнитная сила F_z (рис. 13, *б*), стремящаяся переместить рамку. Этой силе противодействуют сила F_n пружины 5, прижимающая рамку 11 к упору, и возникающая при движении диска дополнительная сила F_m обусловленная взаимодействием магнитного потока постоянного магнита 8 и потоков Φ_1 и Φ_2 электромагнита 1.

Диск начинает вращаться при $I_p = (0,2 \dots 0,3) I_{иср}$, когда момент силы F_z становится больше момента сил трения и инерции диска. Срабатывание индукционного элемента реле происходит при $I_p > I_{иср}$. При этом рамка 11 перемещается, сцепляя червяк 10 (см. рис.13, *а*) с зубчатым сегментом 9. После этого движение рамки прекращается, но диск продолжает вращаться и, посредством червяка 10 поднимает сегмент 9. Рычаг сегмента поднимает коромысло 13, замыкая при этом контакты 14 реле. При подъеме коромысла уменьшается воздушный зазор между якорем 17 и

электромагнитом 1. Якорь притягивается к электромагниту, обеспечивая плотное замыкание контактов 14.

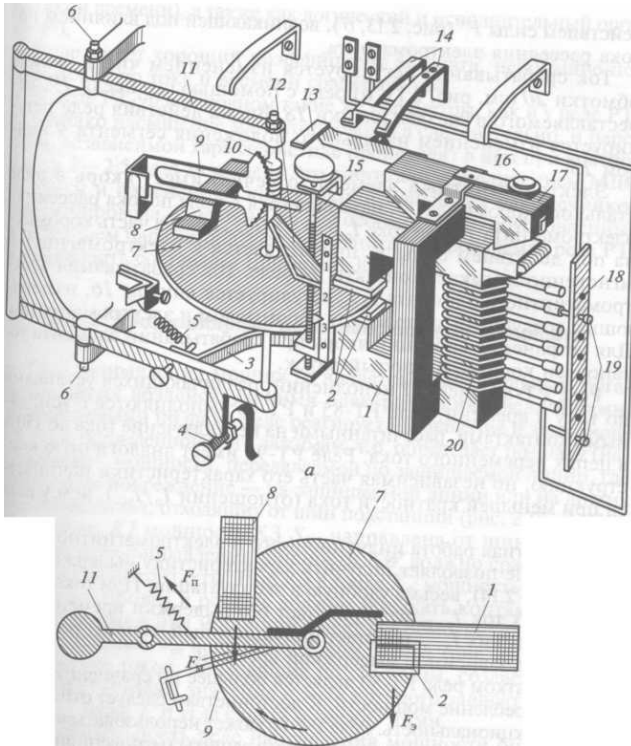


Рис. 13. Токовое реле РТ- 80:

:

- а) конструкция реле; б) – силы, действующие на диск подвижной рамки; 1 – электромагнит; 2 – короткозамкнутые витки; 3 – скоба; 4, 12 – упоры; 5 – пружина; 6 – ось; 7 – диск; 8 – постоянный магнит; 9 – зубчатый сегмент; 10 – червяк; 11 – подвижная рамка; 13 – коромысло; 14 – контакты; 15, 16 – регулируемые винты; 17 – якорь; 18 – планка; 19 – штепсель; 20 – обмотка.

При токе в реле, меньшем тока возврата, момент, создаваемый пружиной 5, преодолевает электромагнитный момент M , и рамка возвращается в начальное положение, расцепляя червяк с сегментом. Сегмент падает на упор 12, размыкая контакты реле. Для обеспечения надежного сцепления рамки с сегментом служит стальная скоба 3, которая притягивается к электромагниту 1 под действием силы F' (рис. 13, б), возникающей под влиянием потока рассеяния электромагнита.

Ток срабатывания регулируется изменением числа витков обмотки 20 (см. рис. 13, а) реле с помощью штепселя 19, переставляемого в гнезда планки 18. Время действия реле регулируется изменением начального положения сегмента 9 винтом 15.

Электромагнитный элемент (отсечка) имеет якорь в виде стального коромысла 13, находящегося в поле потока рассеяния электромагнита 1. При токе $I_p > (4...8) I_{иср}$ правая часть коромысла под действием силы F_3 притягивается к электромагниту и мгновенно замыкает контакты 14 реле. Ток срабатывания электромагнитного элемента $I_{эсп}$ регулируется винтом 16, изменяющим воздушный зазор между коромыслом и электромагнитом. Для устранения вибрации якоря при срабатывании элемента установлен короткозамкнутый виток.

Реле РТ-80 имеет 12 исполнений, различающихся уставками по току и времени, реле РТ-85, и РТ-86 выполняются с усиленными контактами, рассчитанными на переключение тока до 150А в цепях переменного тока. Реле РТ-90 имеет аналогичную конструкцию, но независимая часть его характеристики начинается при меньшей кратности тока (отношении $I_p/I_{уст.}$), чем у реле РТ-80.

Совместная работа индукционного и электромагнитного элементов реле позволяет получить характеристику выдержки времени (рис. 14), весьма удобную в эксплуатации. При токах, превышающих ток $I_{эсп}$, реле работает без выдержки времени. При токах, меньших $I_{эсп}$, работает индукционный элемент реле с ограниченно зависимой выдержкой времени.

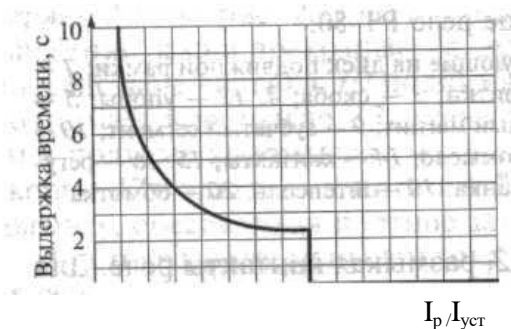


Рис. 14. Характеристика выдержки времени реле РТ-80

Недостатком реле РТ-80 является большее по сравнению с реле РТ-40 потребление мощности. К достоинствам следует отнести его многофункциональность. Реле РТ-80 может использоваться как измерительный орган с двумя ступенями защиты (мгновенной и с выдержкой времени), а также как логический и исполнительный органы РЗ.

Реле имеет хороший коэффициент возврата, небольшие погрешности по току и времени срабатывания.

У реле РТ-90 в основном такие же параметры, как и у реле РТ-80, однако насыщение магнитопровода, а следовательно, и переход к независимой характеристике происходят в нем при кратности в 2— 2,5 раза меньшей. Это достигается увеличением МДС обмотки и изменением конструкции полюсных наконечников магнитопровода. Имеется еще ряд особенностей, обусловленных изменением параметров электромагнита. Потребляемая реле РТ-90 мощность составляет примерно $30 \text{ В} \cdot \text{А}$.

II.2.2.2. Индукционные реле направления мощности

Реле направления мощности является измерительным органом с двумя воздействующими электрическими величинами, сравниваемыми по фазе. Реле реагирует на значение и знак мощности S , подведенной к его зажимам, т.е.

определяет по знаку (направлению) мощности, передаваемой по защищаемой линии, где произошло повреждение — на защищаемой линии или на других присоединениях, отходящих от шин подстанции (рис. 15, а). При КЗ в точке $K1$ мощность КЗ S_{K1} направлена от шин в линию, поэтому реле направления мощности KW должно срабатывать и замыкать свои контакты. При КЗ в точке $K2$ мощность КЗ S_{K2} направлена к шинам и реле не должно замыкать контакты.

Реле направления мощности имеет две обмотки: одна питается напряжением U_p , а другая — током сети I_p (рис. 15, б). Взаимодействие токов, проходящих по обмоткам, создает электромагнитный момент, значение и знак которого зависят от напряжения U_p , тока I_p и угла сдвига φ_p между ними

Чувствительность реле направления мощности оценивается минимальной мощностью, при которой реле замыкает свои контакты. Эта мощность называется мощностью срабатывания $S_{ср}$. Реле направления мощности выполняются мгновенными.

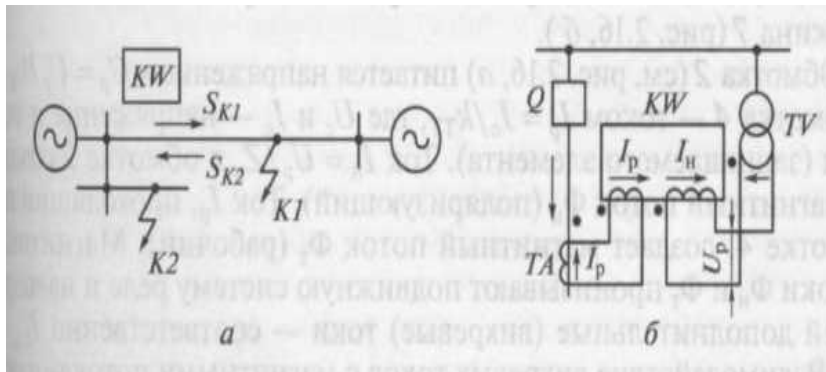
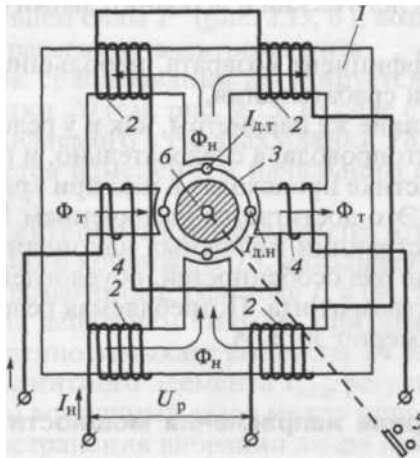


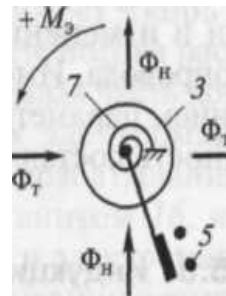
Рис. 15. Реле направления мощности:
а – принцип действия; б – схема включения

Современные индукционные реле направления мощности имеют подвижную систему в виде цилиндрического ротора (рис. 16, а). Между выступающими внутрь полюсами замкнутого магнитопровода I установлен

стальной цилиндр 6, повышающий магнитную проницаемость между полюсного пространства. Алюминиевый цилиндр (ротор) 3 вращается в зазоре между стальным цилиндром и полюсами. При вращении ротора 3 происходит замыкание контактов 5 реле. Для возврата ротора и контактов в исходное положение служит спиральная противодействующая пружина 7 (рис.16, б).



а



б

Рис. 16. Конструктивная схема реле направления мощности с цилиндрическим ротором (а), ротор реле и направление положительного момента M_3 (б):

I — магнитопровод; 2, 4 — обмотки; 3 — алюминиевый цилиндр (ротор); 5 -контакты; 6 — стальной цилиндр; 7— пружина

Обмотка 2(см. рис. 16, а) питается напряжением $U_p = U_c/k_{тн}$, а обмотка 4 — током $I_p = I_c/k_{тн}$, где U_c и I_c — напряжение и ток сети (защищаемого элемента). Ток $I_n = U_p/Z_n$ в обмотке 2 создает магнитный поток Φ_n (поляризующий). Ток I_p , проходящий по

обмотке 4, создает магнитный поток Φ_T (рабочий). Магнитные потоки Φ_H и Φ_T пронизывают подвижную систему реле и наводят в ней дополнительные (вихревые) токи — соответственно $I_{дн}$ и $I_{дт}$. Взаимодействие вихревых токов с магнитными потоками создает электромагнитный момент M_3 .

Согласно формуле (5) электромагнитный момент

$$M_3 = k_1 U_p I_p \sin(\alpha - \varphi_p) = k_1 S_p,$$

где α — угол внутреннего сдвига реле, определяемый индуктивным и активным сопротивлениями обмотки 2; S_p — мощность, подведенная к реле.

Реле направления мощности применяются в направленных защитах. Они должны обладать высокой чувствительностью, так как при КЗ вблизи места установки защиты напряжение U_p резко падает, достигая в пределе нуля; при этом мощность, подводимая к реле, оказывается очень малой и при недостаточной чувствительности реле может не сработать, т.е. иметь «мертвую» зону.

Отечественной промышленностью выпускаются реле направления мощности типов РМ-11 и РМ-12, элементной базой которых являются интегральные микросхемы.

II.2.3. Параметры и характеристики основных реле, используемых в цепях защиты

II.2.3.1. Вторичные реле тока прямого действия РТВ

Технические данные вторичных реле тока прямого действия типа РТВ приведены в табл. 2, характеристики — на рис. 17.

В приводе ПП-67 и встраиваемых пружинных приводах устанавливают электромагниты включения и отключения и не более пяти элементов защиты, число и тип которых зависят от применяемой схемы защиты. При этом привод ПП-67 имеет 26 вариантов исполнения, а пружинный встраиваемый привод — 28 вариантов схем защиты, выполненных на электромагнитах и реле. Условное обозначение вариантов схем защиты состоит из пяти цифр. Так, цифра 1 обозначает максимальное реле

тока РТМ, цифра 2 — максимальное реле тока с выдержкой времени РТВ, цифрой 4 обозначен электромагнит отключения с питанием от независимого источника оперативного тока, цифрой 5 — токовый электромагнит отключения для схем релейной защиты с дешунтированием, 6 — минимальное реле напряжения с выдержкой времени РНВ. Кроме этих реле в комплектных распредустройствах в состав шкафа с выключателем входит и шкаф релейной защиты, в котором могут быть размещены, например, реле РТ-80, РТ-40, РВМ, РП-341 для выполнения защиты по схеме с дешунтированием.

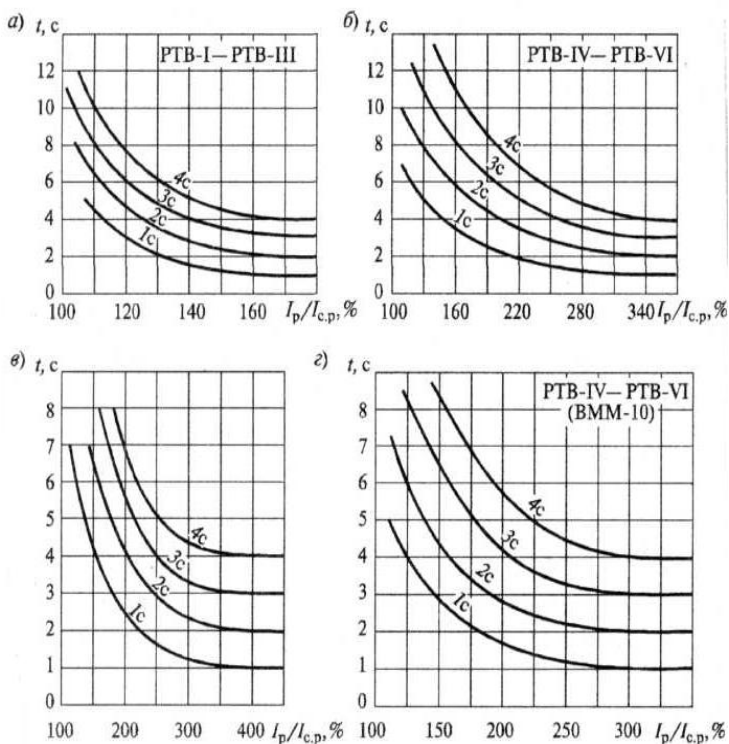


Рис. 17. Характеристики токовых реле типа РТВ $t_p = f(I_p/I_{cp})$

Таблица 2. Технические данные вторичных реле прямого действия типа РТВ

Тип реле	Реле пружинных приводов, встроенных в выключатели ВМПП (ВМПП), ВК-10, ВЭ-10			Реле, встроенное в выносной привод ПП-67			Примечание
	Уставка, А	Потребляемая мощность, В·А		Уставка, А	Потребляемая мощность, В·А		
		до срабатывания (якорь опущен)	после срабатывания (якорь втянут)		до срабатывания (якорь опущен)	после срабатывания (якорь втянут)	
РТВ-I и РТВ-IV	5	35	80	5	44	112	Выключатели со встроенными пружинными приводами используют в КРУ внутренней и наружной установок. В этих же КРУ могут применяться выключатели, например, ВМГ-10, ВМП-10, ВММ-10 с выносным пружинным приводом ПП-67
	6	40	84	6	36	101	
	7	45,6	95	7,5	41	118	
	8	45	92	10	40	113	
	9	40,5	99				
10	46	97					
РТВ-II и РТВ-V	10	45	75	10	40	114	
	12	49	80,4	12,5	40	114	
	14	53	82,5	15	44	125	
	16	51	80	17,5	45	125	
	18	49,5	82,9				
	20	50	81				

Окончание таблицы 2

Тип реле	Реле пружинных приводов, встроенных в выключатели ВМПП (ВМПП), ВК-10, ВЭ-10			Реле, встроенное в выносной привод ПП-67			Примечание
	Уставка, А	Потребляемая мощность, В·А		Уставка, А	Потребляемая мощность, В·А		
		до срабатывания (якорь опущен)	после срабатывания (якорь втянут)		до срабатывания (якорь опущен)	после срабатывания (якорь втянут)	
РТВ-III и РТВ-VI	20	44	74,5	20	37	107	То же
	22	46	80,5	25	41	116	
	24	49	85	30	44	126	
	27	55	88	35	52	142	
	30	60	96,3				
	35	70	109				

II.2.3.2. Вторичные реле тока РТМ и электромагниты УАТ пружинных приводов

Параметры реле тока РТМ и электромагнитов УАТ представлены в таблице 3.

Таблица 3. Технические данные реле типа РТМ и электромагнитов типа УАТ

Тип УАТ (УАС)	Ток срабатывания, А	Сопротивление, Ом	
		Сердечник опущен	Сердечник втянут
Реле РТМ в приводе ПП-67	5	0,64	2,32
Реле РТМ пружинных приводов, встроенных в выключатели ВМП (ВПМП), ВК-10, ВЭ-10	5	0,79	2,68
Реле РТМ в приводе короткозамыкателя	5	0,72	2
УАТ в приводе ПП-67	3	2,22	7,5
	1,5	8,9	30
УАТ пружинных приводов, встроенных в выключатели ВМП (ВПМП), ВК-10, ВЭ-10	3	3,98	30
	1,5	15,5	47

Примечание. В качестве расчетного принимают сопротивление $Z_{н.рч.}=0,8 Z_{в.с.}$, где $Z_{в.с.}$ – сопротивление при втянутом сердечнике.

II.2.3.3. Вторичные реле тока косвенного действия РТ-81...РТ-86

Реле служат для защиты электрических машин, трансформаторов и линий электропередачи при коротких замыканиях и перегрузках.

Реле РТ-85, РТ-86 предназначены для работы на переменном оперативном токе в схемах защиты с дешунтированием электромагнита отключения выключателя или электромагнита включения короткозамыкателя. Реле РТ-

81...PT-86 являются комбинированными и состоят из двух элементов: индукционного с диском, создающего ограниченно зависимую выдержку времени и электромагнитного (отсеку) мгновенного действия, срабатывающего при больших кратностях тока в обмотке реле. Оба элемента используют одну общую магнитную систему.

Технические данные реле указаны в табл. 4, а характеристики представлены на рис. 18 и 19.

Таблица 4. Технические данные реле типа PT-81...86

Тип реле	Индукционный элемент		Отношение тока срабатывания электромагнитного элемента $I_{ср}^I$ к току срабатывания индукционного элемента $I_{ср}^{III}$	Контактная система реле
	Уставка тока срабатывания, А	Время срабатывания, с		
PT-81/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	0,5; 1; 2; 3; 4	2...8	Один общий контакт для индукционного и электромагнитного элементов
PT-81/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	0,5; 1; 2; 3; 4	2...8	
PT-82/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	2; 4; 8; 12; 16	2...8	
PT-82/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	2; 4; 8; 12; 16	2...8	Два контакта: один для индукционного элемента, действующего на сигнал, и один для электромагнитного элемента, действующего на отключение
PT-83/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	1; 2; 3; 4	2...8	
PT-83/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	1; 2; 3; 4	2...8	
PT-84/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	4; 8; 12; 16	2...8	
PT-84/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	4; 8; 12; 16	2...8	
PT-85/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	0,5; 1; 2; 3; 4	2...8	
PT-85/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	0,5; 1; 2; 3; 4	2...8	
PT-86/1	4; 5; 6; 7; 8; 9; 10	4; 8; 12; 16	2...8	Два контакта: один для индукционного элемента, действующего на сигнал, и один переключающий контакт без размыкания цепи для электромагнитного элемента, действующего на отключение
PT-86/2	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	4; 8; 12; 16	2...8	

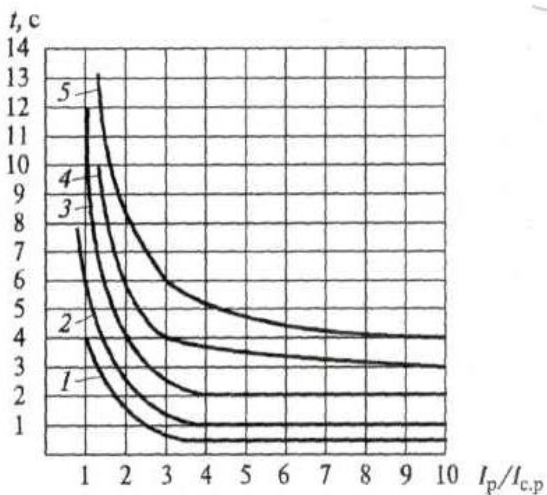


Рис. 18. Временные характеристики реле РТ-81/1, РТ-81/2, РТ-85/1, РТ-85/2. Уставки на время срабатывания: 1 – 0,5 с; 2 – 1 с; 3 – 2,0 с; 4 – 3,0 с; 5 – 4,0 с.

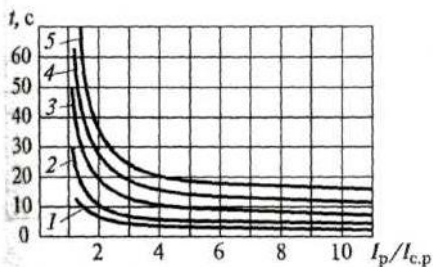


Рис. 19. Временные характеристики реле РТ-82/1, РТ-82/2. Уставки на время срабатывания: 1 – 2,0 с; 2 – 4,0 с; 3 – 8,0 с; 4 – 12,0 с; 5 – 16,0 с.

II.2.3.4. Вторичные реле тока косвенного действия РТ40, РТ-140

Реле предназначены в качестве измерительных органов в схемах релейной защиты и автоматики. Для выполнения реле использована электромагнитная система с поперечным движением якоря.

Основные технические данные указаны в табл. 5.

Таблица 5. Технические данные реле тока РТ-40

Тип реле	Пределы уставок ($I_{уст}$) при последовательном соединении обмоток реле, А	Потребляемая мощность реле при токе минимальной уставки, В · А
РТ-40/0,2	0,05...0,1	0,2
РТ-40/0,6	0,15...0,3	0,2
РТ-40/2	0,5...1	0,2
РТ-40/6	1,5...3	0,5
РТ-40/10	2,5...5	0,5
РТ-40/20	5...10	0,5
РТ-40/50	12,5...25	0,8
РТ-40/100	25...50	0,8
РТ-40/200	50...100	8

Примечания:

1. Шкала отградуирована в амперах для схемы последовательного соединения обмоток реле. Переключение обмоток реле с последовательного соединения на параллельное увеличивает токи срабатывания, указанные на шкале (в табл.) в два раза.
2. Коэффициент возврата реле k_v с некоторым допущением можно принять равным 0,8.
3. Собственное время срабатывания реле не более 0,1 с при токе $1,2I_{уст}$ и 0,03 при токе $3I_{уст}$.
4. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.
5. Реле РТ-140 имеет такие же технические данные, как и реле РТ-40.

II.2.3.5. Аналоговые вторичные реле тока косвенного действия РСТ11, РСТ12

Реле применяют в качестве измерительных органов в схемах релейной защиты и автоматики. Они предназначены в основном для использования в различных комплектных устройствах, от которых требуется повышенная устойчивость к механическим воздействиям. Реле выполнены на основе полупроводниковой элементной базы. Операционный усилитель включается по схеме компаратора. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты. Основные технические данные приведены в табл. 6.

Таблица 6. Технические данные реле типа РСТ11

Тип реле	Пределы уставки тока срабатывания, А	Потребляемая мощность реле при токе минимальной уставки, В · А
РСТ11-0,4	0,05...0,2	0,1
РСТ11-09	0,15...0,6	0,1
РСТ11-14	0,5...2	0,1
РСТ11-19	1,5...6	0,2
РСТ11-24	5...20	0,2
РСТ11-29	15...60	0,8
РСТ11-32	30...120	2,4

Примечания:

1. Коэффициент возврата реле на любой уставке не менее 0,9.
2. Реле РСТ12 имеет такие же технические данные, как и реле РСТ11.

II.2.3.6. Аналоговые вторичные реле напряжения косвенного действия РСН15, РСН17

Реле предназначены для применения в качестве измерительных органов в цепях переменного тока. Они выполнены на основе полупроводниковой элементной базы с операционным усилителем, включенным по схеме компаратора. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты. Реле в основном используется в различных комплектах устройств, от которых требуется повышенная устойчивость к механическим воздействиям.

Технические данные указаны в табл. 7.

Таблица 7а. Технические данные реле типа РСН15

Тип реле	Пределы уставок напряжения срабатывания, В	Потребляемая мощность при минимальной уставке, В·А	Коэффициент возврата k_n
Максимальные реле:			
РСН15-23	12...60	0,025	Не менее 0,9
РСН15-25	15...75	0,11	
РСН15-28	40...200	0,1	
РСН15-30	50...250	0,11	
РСН15-33	80...400	0,1	

Таблица 7б. Технические данные реле типа РСН17

Тип реле	Пределы уставок напряжения срабатывания, В	Потребляемая мощность при минимальной уставке, В·А	Коэффициент возврата k_n
Минимальные реле:			
РСН17-23	12...60	0,025	1,1
РСН17-28	40...200	0,1	
РСН17-33	80...400	0,1	

II.2.3.7. Вторичные реле напряжения косвенного действия РН-53, РН-54

Реле предназначены для применения в качестве измерительных органов в цепях переменного тока.

Технические данные указаны в табл. 8.

Таблица 8. Технические данные реле типа РН53 и РН54

Тип реле	Пределы уставок $U_{уст}$ на шкале реле, В	Потребляемая мощность при минимальной уставке, В·А	Коэффициент возврата k_n
Максимальные реле: РН53/60 РН53/200 РН53/400 РН53/60Д	15...30 50...100 100...200 15...30	Не превышает 1 В·А при напряжении минимальной уставки, не более 5 В·А при напряжении 100 В	Не менее 0,8
Минимальные реле: РН54/48 РН54/160 РН54/320	12...24 40...80 80...160	Не превышает 1 В·А при напряжении минимальной уставки	1,25

Примечания:

1. Реле содержит двухполупериодный выпрямитель, к которому подключена обмотка электромагнитного реле. В цепь выпрямителя введены один или два последовательно соединенных резистора. Шкала реле проградуирована при включении одного резистора. Чтобы получить шкалу уставок вдвое большую, необходимо включить оба резистора.

2. Собственное время срабатывания реле РН-53 — 0,15 с при $1,2U_{уст}$ и 0,03 с при $2U_{уст}$, реле РН-54 — 0,15 с при $0,8U_{уст}$.

3. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

4. Реле РН-153 и РН-154 имеют такие же технические данные, как и реле РН-53 и РН-54.

II.2.3.8. Реле времени серии РВ-100

Реле выпускают на номинальные напряжения 24, 48, ПО и 220 В. Они применяются в схемах релейной защиты и автоматики на постоянном оперативном токе для создания независимой регулируемой с заданной точностью выдержки

времени. Потребляемая мощность при номинальном напряжении для реле типов РВ-112...РВ-142 и РВ-114...РВ-144 не более 30 Вт; для реле типов РВ-113...РВ-143 не более 35 Вт. Технические данные реле указаны в табл. 9.

Таблица 9. Технические данные реле типа РВ-100

Тип реле	Диапазон уставок, с	Число и вид контактов	
		с выдержкой времени	мгновенный
РВ-112	0,1...1,3	Два контакта: импульсный, конечный замыкающий	Переключающий
РВ-122	0,25...3,5		
РВ-132	0,5...9,0		
РВ-142	1,0...20		
РВ-113	0,1...1,3	Конечный замыкающий	Замыкающий
РВ-123	0,25...3,5		
РВ-133	0,5...9,0		
РВ-143	1,0...20		
РВ-114	0,1...1,3	Конечный замыкающий	Переключающий
РВ-124	0,25...3,5		
РВ-134	0,5...9,0		
РВ-144	1,0...20		

II.2.3.9. Реле времени серии РВМ-12, РВМ-13

Реле используют в схемах защиты на переменном оперативном токе и включают непосредственно во вторичные цепи трансформаторов тока. Реле используют в схемах защиты и автоматики для создания независимой выдержки времени. Технические данные реле указаны в таблице 10.

Таблица 10. Технические данные реле типа РВМ

Тип реле	Ток срабатывания, А		Пределы регулирования времени срабатывания, с	Потребляемая мощность, В·А	Число и вид контактов
	при последовательном соединении обмоток	при параллельном соединении обмоток			
РВМ-12	2,5	5	0,5...4	Не более 10 В·А при двукратном токе срабатывания, т. е. соответственно при 5 и 10 А	Три контакта, из них два импульсных
РВМ-13	2,5	5	1...10		

II.2.3.10. Промежуточные реле постоянного тока РП23, РП24

Для выполнения реле используют электромагнитную систему с поворотным якорем. Реле РП24 отличается от реле РП23 наличием указателя срабатывания с ручным возвратом. Технические данные реле указаны в табл. 11.

Таблица 11. Технические данные реле тока РП23 и РП24

Тип реле	Номинальное напряжение $U_{ном}$, В	Напряжение срабатывания реле $U_{с.р}$	Напряжение возврата реле $U_{в.р}$	Потребляемая мощность, Вт	Контактная система реле
РП23 и РП24	24, 48, 110, 220	Не более $0,8U_{ном}$	Не менее $0,03U_{ном}$	Не более 6	Один размыкающий и четыре замыкающих контакта

П.2.3.11. Промежуточные реле переменного тока РП-321, РП-341

Реле применяют в схемах защиты на переменном оперативном токе и включают во вторичную цепь трансформаторов тока через насыщающийся трансформатор тока (НТТ), встроенный в реле.

Технические данные реле указаны в табл.12.

Таблица 12. Технические данные реле типа РП-321 и РП-341

Тип реле	Ток срабатывания, А		Коэффициент возврата	Потребляемая мощность, В·А	Вид и назначение контактов
	при последовательном соединении обмоток	при параллельном соединении обмоток			
РП-321 РП-341 (361)	2,5	5	0,3...0,5	Не более 10 В·А при двукратном токе срабатывания, соответственно при 5 и 10 А	Четыре замыкающих контакта, способных коммутировать ток не более 2 А. Два переключающих контакта. Один из них переключающий контакт без разрыва цепи. Он способен дещунтировать электромагнит отключения выключателя при переменном токе до 150 А, если управляемая цепь питается от трансформатора тока и ее полное сопротивление при токе 3,5 А не более 4,5 Ом

3.12. Реле тока в схемах защит от замыкания на землю

В схемах защит от замыкания фаз на землю применяют реле типов РТ-40 и РТЗ-50, параметры которых показаны в табл. 13.

Таблица 13. Технические данные реле типа РТ-40 и РТЗ-50

Тип реле	РТ-40/0,2	РТЗ-50
Уставка тока срабатывания реле, А	0,1	0,03
Минимальный ток срабатывания защиты $I_{с.з.min}$, А, при использовании трансформаторов тока нулевой последовательности:		
ТЗЛМ	8,5	3
ТЗЛ-95	6,2	3,2
ТЗЛ	7	3,5

II.2.4. Автоматические выключатели

Автоматы предназначены для нечастых включений и отключений электрических цепей постоянного и переменного тока вручную, а также для автоматического размыкания цепей постоянного и переменного тока при нарушении нормального режима работы, в результате короткого замыкания (К.З.), опасного снижения напряжения в сети, перегрузки по току.

Все автоматы содержат следующие основные узлы: токоведущую цепь (неподвижные и подвижные контакты - главные и дугогасительные контакты), привод автомата (рукоятка или электромагнит), механизм автомата, элементы защиты - расцепители максимального тока, расцепители теплового реле, дугогасительную систему.

Автоматы имеют весьма эффективную систему гашения дуги (дугогасительные катушки и решетки). Для защиты главных контактов от обгорания автомат снабжается предварительными и разрывными легко заменяемыми контактами. При отключении цепи сперва размыкаются

главные, затем предварительные и последними - разрывные контакты. Замыкание контактов при включении происходит в обратном порядке. Основным узлом автомата является механизм свободного расцепления - система шарнирно-связанных рычагов. Механизм расцепления приводится в действие биметаллическим тепловым реле (реагирующем на перегрузку) или электромагнитным (реагирующем на ток короткого замыкания или снижение напряжения) элементом, переводящим систему рычагов через мертвое положение. Включение и отключение небольших автоматов может производиться как вручную, так и дистанционно. Мощные автоматы требуют для включения и отключения больших усилий, которые обеспечиваются соленоидным дистанционным приводом.

На рис. 20 показана упрощенная схема устройства однополюсного автомата максимального тока.

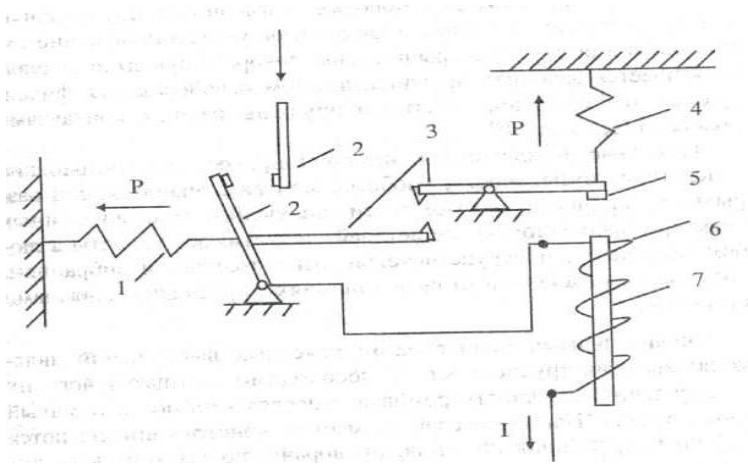


Рис. 20. Схема устройства автомата максимального тока

. Когда ток I становится больше заданной величины, например, из-за КЗ, электромагнит 6 расцепителя притягивает якорь 5, преодолевая усилие противодействующей пружины 4 и освобождает защелку 3. Под действием возвратной пружины 1 происходит быстрое размыкание контактов 2 и отключение защищаемой цепи от сети.

Устройство защиты автоматического выключателя – расцепитель, в качестве которого используют тепловые, электромагнитные и полупроводниковые реле, характеризуется номинальным током срабатывания $I_{рц\ ном}$, током срабатывания $I_{сз}$ и выдержкой времени срабатывания $t_{сз}$ каждой ступени. Номинальным током расцепителя $I_{рц\ ном}$ называется наибольший ток, длительное прохождение которого не вызывает срабатывания расцепителя.

Отечественная промышленность выпускает автоматические выключатели разных токов, в том числе выключатели АЗ100, АЗ700, «Электрон», ВА5000.

II.2.4.1. Автоматические выключатели серии АЗ100

В эту серию входят автоматические выключатели типов АЗ110, АЗ120, АЗ130, АЗ140. Все они снабжаются нерегулируемыми в условиях эксплуатации комбинированными (тепловыми и электромагнитными) расцепителями. Автоматический выключатель АЗ160 имеет только тепловой расцепитель. Сведения о расцепителях даны в табл. 14, а на рис. 21 показаны их защитные характеристики. Пунктирной линией обозначена защитная характеристика теплового расцепителя выключателя АЗ160. Зонами А, Б и В обозначены времена срабатывания электромагнитных расцепителей. Максимальное время (зона В) не превышает 0,06 с. На характеристиках указаны номинальные токи тепловых расцепителей. Из характеристик следует, что отношение тока срабатывания электромагнитного расцепителя (токовой отсечки) $I_{сз}$ к номинальному току теплового расцепителя $I_{рц\ ном}$ для любого комбинированного расцепителя автоматического выключателя

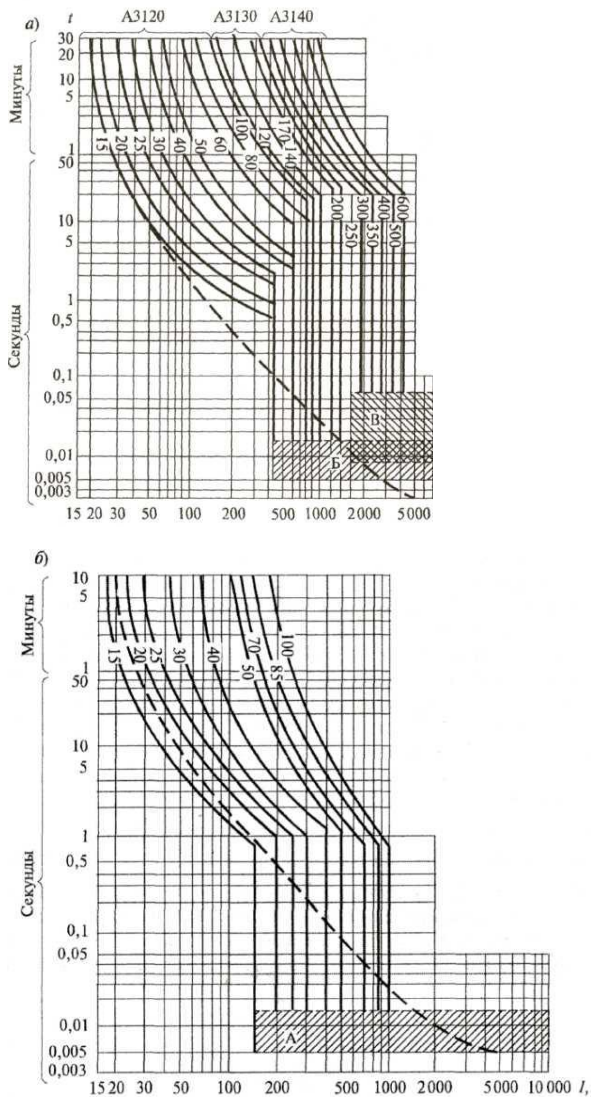


Рис.21. Защитные характеристики автоматов А3120, А3130, А3140 (а) и А3110 (б); пунктирная линия-автомата А3161

А3110 равно $k_{сз}^I = 10$. Для автоматических выключателей А3120, А3130 и 31140 $k_{сз}^I = 8...28$ и 7 соответственно.

Таблица 14. Технические данные автоматических выключателей серии А 3100

Тип выключателя	Номинальный ток теплового расцепителя, А	$k_{сз}^I = I_{сз}^I / I_{рц.ном}$	$k_{сз}^{III} = I_{сз}^{III} / I_{рц.ном}$
А3110	15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 85; 100	10	1,25
А3120	15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 80; 100	8+28	1,25
А3130	120; 140; 170; 200	7	1,25
А3140	250; 300; 350; 400; 500; 600	7	1,25
А3161	15; 20; 25; 30; 40; 50	Электромагнитного расцепителя нет	1,25
А3162	15; 20; 25	То же	1,25
А3163	30; 40; 50; 60	»	1,25

II.2.4.2. Автоматические выключатели серии А3700

Различают селективные (С) и токоограничивающие (Б) автоматические выключатели А3700. Селективные автоматические выключатели А3700С снабжаются только полупроводниковыми расцепителями серии РП. Защита содержит вторую и третью ступени, регулируемые в определенных пределах в условиях эксплуатации, а выключатель наибольшего размера А3794С имеет еще и первую нерегулируемую ступень защиты. При токе более 20 кА (действующее значение) он отключается без выдержки времени. В отличие от селективных автоматических выключателей токоограничивающие выключатели А3700Б имеют наряду с полупроводниковым расцепителем нерегулируемый в условиях эксплуатации электромагнитный расцепитель. На основе

полупроводникового расцепителя создаются первая и третья ступени защиты. Таким образом, устройство защиты содержит две первые ступени, настраиваемую и ненастраиваемую в условиях эксплуатации.

Выключатели АЗ700Б, АЗ700Ф и АЗ700Н могут снабжаться комбинированными расцепителями (электромагнитный и тепловой расцепитель), содержащими первую и третью ступени защиты. У выключателей АЗ700Б и АЗ700Ф тепловой расцепитель (третья ступень защиты) может отсутствовать. Сведения о полупроводниковых и электромагнитных расцепителях выключателей АЗ700С и АЗ700Б даны в табл. 15, а защитные характеристики полупроводникового расцепителя РП показаны на рис. 22. Здесь время срабатывания для токоограничивающих выключателей указано пунктиром.

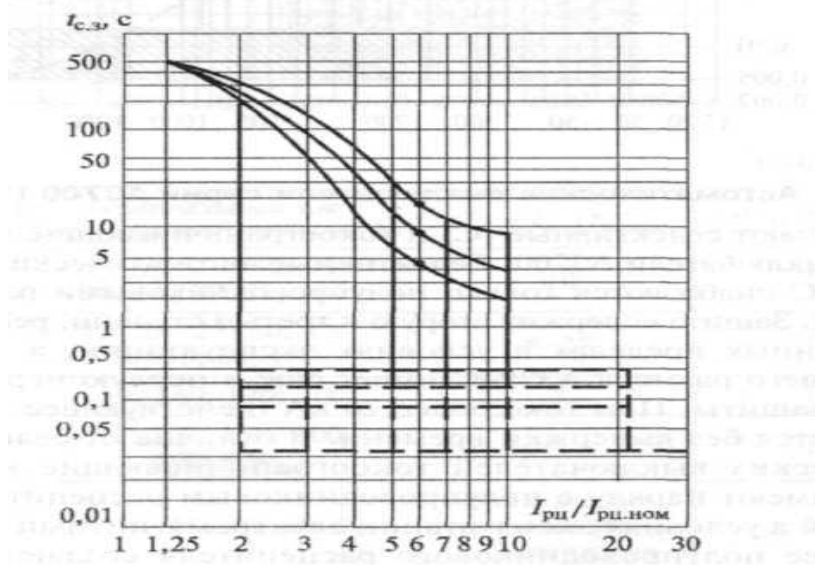


Рис. 22. Защитные характеристики полупроводникового расцепителя РП автоматического выключателя АЗ700

Устройство защиты допускает регулировку номинального тока расцепителя $I_{рц.ном}$. При этом вместе с $I_{рц.ном}$ изменяется и ток

срабатывания $I_{с.з.}^{III}$ максимальной токовой защиты (III ступень), так что при любом $I_{рц.ном}$ выполняется условие $I_{с.з.}^{III} = 1,25 I_{рц.ном}$. Непосредственно ток $I_{с.з.}^{III}$ в условиях эксплуатации не регулируется. Коэффициент возврата реле составляет 0,97-0,98.

Таблица 15. Технические данные автоматических выключателей серии АЗ700С и АЗ700Б

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя $I_{в.ном}, A$	Уставки полупроводникового расцепителя РП		Ток срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{с.з.}^{II}, A$
		Регулируемые на шкале РП их значения		
		Номинальный ток расцепителя, $I_{рц.ном}, A$	$t_{с.з.}^{II}, c$	
АЗ734С	250 400	160, 200, 250 250, 320, 400	0,1; 0,25; 0,4	Электромагнитного расцепителя нет
АЗ744С	400 630	250, 320, 400 400, 500, 630	0,1; 0,25; 0,4	То же
АЗ794С	250 400 630	160, 200, 250 250, 320, 400 400, 500, 630	0,1; 0,25; 0,4	»
АЗ714Б	160	20, 25, 32, 40 40, 50, 63, 80 80, 100, 125, 160	Отсечка без выдержки времени (первая ступень)	1600
АЗ724Б	250	160, 200, 250	То же	2500
АЗ734Б	250 400	160, 200, 250 250, 320, 400	»	4000
АЗ744Б	400 630	250, 320, 400 400, 500, 630	»	6300
АЗ794Б	250 400 630	160, 200, 250, 250, 320, 400 400, 500, 630	»	4000 4000 6300

Примечания:

- Для всех типов выключателя $k_{с.з.}^{II} = I_{с.з.}^{II} / I_{рц.ном} = 2, 3, 5, 7, 10$; $k_{с.з.}^{III} = I_{с.з.}^{III} / I_{рц.ном} = 1,25$; при $6 I_{рц.ном}$ значения $t_{с.з.}^{III} = 4, 8, 16 c$.
- Выключатель АЗ794С при токе более 20 кА (действующее значение) отключается без выдержки времени (первая ступень защиты).

В отличие от максимальной токовой защиты у токовой отсечки с выдержкой времени (II ступень) имеется возможность устанавливать несколько значений тока срабатывания $I_{с.з.}^{II}$, связанных с $I_{рцном}$ условием $I_{с.з.}^{II} = k_{с.з.}^{II} I_{рцном}$, где коэффициент кратности $k_{с.з.}^{II} = 2, 3, 5, 7, 10$. Устройство позволяет изменять наклон характеристики выдержек времени максимальной токовой защиты так, что при токе $6 I_{рцном}$ можно получить выдержки времени, равные 4, 8 и 16 с. Токовая отсечка имеет независимую регулируемую выдержку времени. Можно установить время срабатывания 0,1; 0,25 и 0,4с. Все токоограничивающие автоматические выключатели снабжены токовой отсечкой без выдержки времени. Она выполняется электромагнитными расцепителями.

Защитные характеристики комбинированных расцепителей автоматических выключателей АЗ700 указаны на рис. 23, а сведения о них даны в табл. 16.

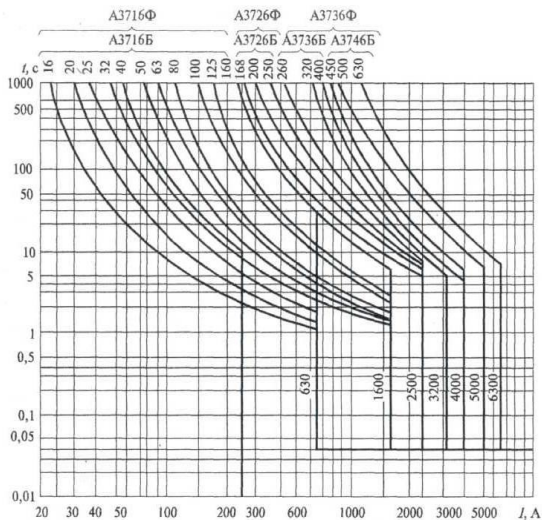


Рис. 23. Защитные характеристики комбинированного расцепителя автоматического выключателя АЗ700

Таблица 16. Технические данные комбинированных расцепителей автоматических выключателей серии А3700

Тип выключателя	Номинальный ток $I_{л.ном}, A$	Номинальный ток теплового расцепителя $I_{рц.ном}, A$	Ток срабатывания электромагнитного расцепителя $I'_{с.э}, A$
<i>Выключатели на напряжение до 660 В</i>			
А3716Б	160	16, 20, 25	630
		32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	1600
А3726Б	250	160, 250, 250	2500
А3736Б	400	250	2500
		320	3200
		400	4000
А3746Б	630	400	4000
		500	5000
		630	6300
А3796Н	630	250	2500
		320	3200
		400	4000
		500	5000
		630	6300
<i>Выключатели на напряжение до 380 В</i>			
А3716Ф	160	16, 20, 25	630
		32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 250	630, 1600
А3726Ф	250	160, 200, 250	2500
А3736Ф	630	250	2500
		320	3200
		400	4000
		500	5000
		630	6300

Примечание. Для всех типов выключателя $k_{с.э}^{III} = I'_{с.э} / I_{рц.ном} = 1,15$.

Сведения о трехполюсных автоматических выключателях переменного тока серии А3700 и их электромагнитных расцепителях даны в табл. 17.

Таблица 17. Технические данные электромагнитных расцепителей автоматических выключателей серии А3700

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя $I_{\text{ном}}', \text{А}$	Номинальный ток расцепителя $I_{\text{рцном}}', \text{А}$	Ток срабатывания расцепителя $I_{\text{с.р.}}', \text{А}$
<i>Выключатели на напряжение до 660 В</i>			
А3712Б	160	80 160	400 630, 1000, 1600
А3722Б	250	250	1600, 2000, 2500
А3732Б	400	400	2500, 3200, 4000
А3742Б	630	630	4000, 5000, 6300
А3792Б	630	630	2500, 3200, 4000, 5000, 6300
<i>Выключатели на напряжение до 380 В</i>			
А3712Ф	160	80 160	400 630, 1000, 1600
А3722Ф	250	250	1600, 2000, 2500
А3732Ф	630	400 630	2500, 3200, 4000, 4000, 5000, 6300

II.2.4.3. Автоматические выключатели серии «Электрон»

Автоматические выключатели серии «Электрон» выпускают следующих типов: Э06, Э16, Э25, Э40. По способу установки выключатели подразделяют на стационарные и выдвижные. При этом в обозначение выключателя дополнительно вводят буквы С и В. Например, Э25С, Э40В. Выключатели Э16 только выдвижные. Выключатели имеют климатические исполнения. При этом в зависимости от условий, в которых выключатель будет эксплуатироваться, вводят дополнительные обозначения:

УЗ — в районах с умеренным климатом;

ХЛЗ — в районах с холодным климатом;

ТЧ — в районах с тропическим климатом.

Сведения о трехполюсных выключателях серии «Электрон» с полупроводниковыми расцепителями РМТ переменного тока напряжением до 660 В даны в табл. 18. Автоматический выключатель «Электрон» снабжен регулируемым полупроводниковым расцепителем типа РМТ. Расцепитель позволяет выполнить трехступенчатую токовую защиту с зависимой и независимой выдержкой времени третьей ступени. Характеристики устройства защиты показаны на рис. 24. Из сопоставления этих характеристик с характеристиками расцепителя серии РП (см. рис. 22) следует, что для третьих ступеней защиты с зависимой выдержкой времени характеристики одинаковы.

Пределы и способы регулирования тока срабатывания $I_{с.з.}^{III}$ и выдержки времени $t_{с.з.}^{III}$ идентичны. Коэффициент возврата реле κ_6 составляет 0,75. Расцепитель РМТ позволяет выполнить третью ступень с независимой выдержкой времени (характеристика, обозначенная на рис. 24 штрих-пунктирной линией). Для токовой отсечки у расцепителя РМТ несколько ограничен диапазон уставок тока срабатывания. Здесь коэффициент кратности $k_{с.з.}^{II} = 3, 5, 7, 10$. Расцепитель позволяет выполнить ее с выдержкой времени и без выдержки времени.

Таблица 18. Технические данные автоматических выключателей серии «Электрон»

Тип выключателя	Тип исполнения		Номинальный ток выключателя $I_{ном}^A$, А		Номинальный базовый ток расцепителя $I_{рц.ном}^B$, А		Уставки полупроводникового расцепителя РМТ (регулируемые на шкалах РМТ значения)	
	по способу установки	обозначение	для условий эксплуатации		для условий эксплуатации		$\frac{I_{рц.ном.а}}{I_{рц.ном.б}}$	$k_{сз}^{II} = \frac{I_{сз}^{II}}{I_{рц.ном}}$
			УЗ; ХЛЗ	ТЧ	УЗ; ХЛЗ	ТЧ		
Э06	Стационарный	Э06С	1000	800	600, 800 1000	630, 800	0,8; 1,0; 1,25	3; 5; 7; 10 3; 5; 7
Э25	То же	Э25С	4000	3200	1000, 1600, 2500 4000	1000, 1600; 2500	0,8; 1,0; 1,25 0,8; 1,0	3; 5; 7 3; 5
Э40	*	Э40С	6300	5000	4000	4000	0,8; 1,0; 1,25 0,8; 1,0	3; 5 3
Э06	Выдвижной	Э06В	1000	800	600; 800 1000	630; 800	0,8; 1,0; 1,25	3; 5; 7; 10 3; 5; 7
Э16	То же	Э16В	1600	1250	630 1000; 1600	1000	0,8; 1,0; 1,25	3; 5; 7; 10 3; 5; 7
Э25	*	Э25В	2500	2000	1600; 2500	1600	0,8; 1,0; 1,25	3; 5; 7
Э40	*	Э40В	5000	4000	2500 4000	2500 4000	0,8; 1,0; 1,25	3; 5; 7 3; 5

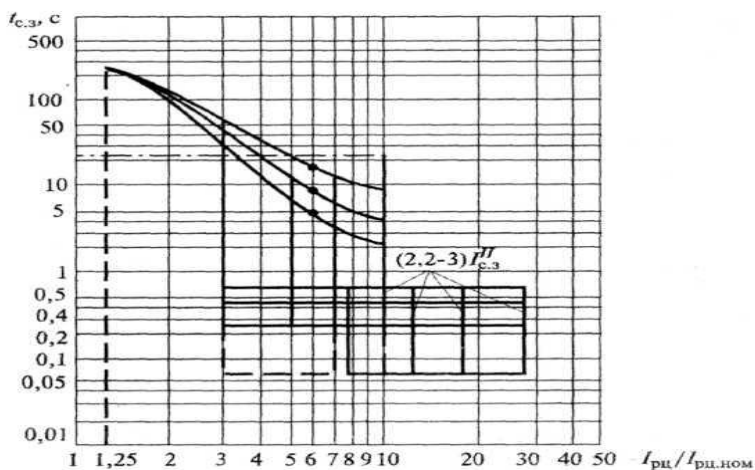


Рис. 24. Защитные характеристики полупроводникового расцепителя РМТ автоматического выключателя «Электрон»

В трехступенчатой защите выдержка времени второй ступени может быть установлена $t_{с.з.}^{II} = 0,25; 0,45; 0,7$ с. Ток срабатывания первой ступени не регулируется. Расцепитель срабатывает без выдержки времени при токе $I_{с.з.}^I = (2,2-3) I_{с.з.}^{II}$.

II.2.4.4. Автоматические выключатели серии ВА 5000

Для выполнения устройств защиты выключателя серии ВА5000 используются тепловые, электромагнитные и полупроводниковые расцепители. Применяют различные их комбинации.

Выключатели серии ВА51 и ВА52 (табл. 19) имеют тепловые и электромагнитные расцепители (рис. 23, в). С помощью теплового расцепителя создается третья ступень защиты. Ток ее срабатывания $I_{с.з.}^{III}$ не регулируется. Он связан с номинальным током расцепителя. Электромагнитный расцепитель служит для создания первой ступени защиты. Ток ее срабатывания $I_{с.з.}^I$ зависит от номинального тока расцепителя и указывается в виде кратности $k_{с.з.}^I = I_{с.з.}^I / I_{рц.ном}$. Что касается выключателей ВА51 и ВА52 с номинальным током 250, 400 и 630 А, то они могут выполняться и без теплового расцепителя. При этом ток срабатывания электромагнитного расцепителя калибруется. Например, у выключателей ВА51-35 и ВА52-35 следующие уставки тока срабатывания электромагнитного расцепителя: 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 А (см. табл. 19).

Полупроводниковый расцепитель БПР-11 является комплектующим изделием для автоматических выключателей серии ВА53, ВА54, ВА55 и ВА75, причем у выключателей ВА53 и ВА54 он дополняется электромагнитным расцепителем. С помощью полупроводникового расцепителя создаются третья и первая или третья и вторая ступени токовой защиты, а также токовая защита нулевой последовательности для действия при однофазных КЗ (рис. 25, а, б).

Таблица 19. Технические данные автоматических выключателей серии ВА5000

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя $I_{\text{ном}}$, А	Номинальные токи тепловых расцепителей $I_{\text{р.ном}}$, А	$k_{\text{с.т}}^I = I_{\text{с.т}}^I / I_{\text{р.ном}}$	Калиброванное значение уставок по току срабатывания электромагнитных расцепителей для выключателей без тепловых расцепителей $I_{\text{с.т}}^I$, А	$k_{\text{с.т}}^{III} = I_{\text{с.т}}^{III} / I_{\text{р.ном}}$
BA51-25	25	6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25	7; 10	—	1,35
BA51Г25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8; 12,5; 16; 20; 25	14	—	1,2
BA51-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	3; 7; 10	—	1,35
BA52-31	100	80; 100	3; 7; 10	—	1,25
BA51Г31 BA52Г31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	14	—	1,2
BA51-33 BA52-33	160	80; 100; 125; 160	10	—	1,25
BA51Г33 BA52Г33	160	80; 100; 125; 160	14	—	1,2
BA51-35 BA52-35	250	100; 125; 160; 200; 250	12	1000; 1250; 1600; 2000; 2500	1,25
BA51-37 BA52-37	400	250; 320; 400	10	1600; 2000; 2500; 3200; 4000	1,25
BA51-39	630	400; 500; 630	10	2500; 3200; 4000; 5000; 6300	1,25
BA52-39	630	250; 320; 400; 500; 630	10	2500; 3200; 4000; 5000; 6300	1,25

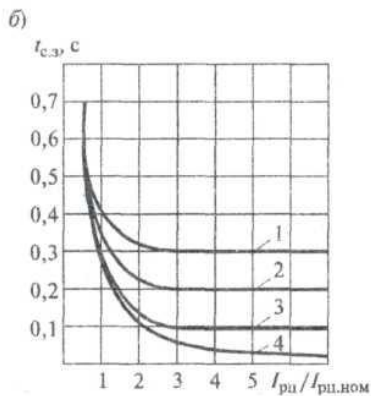
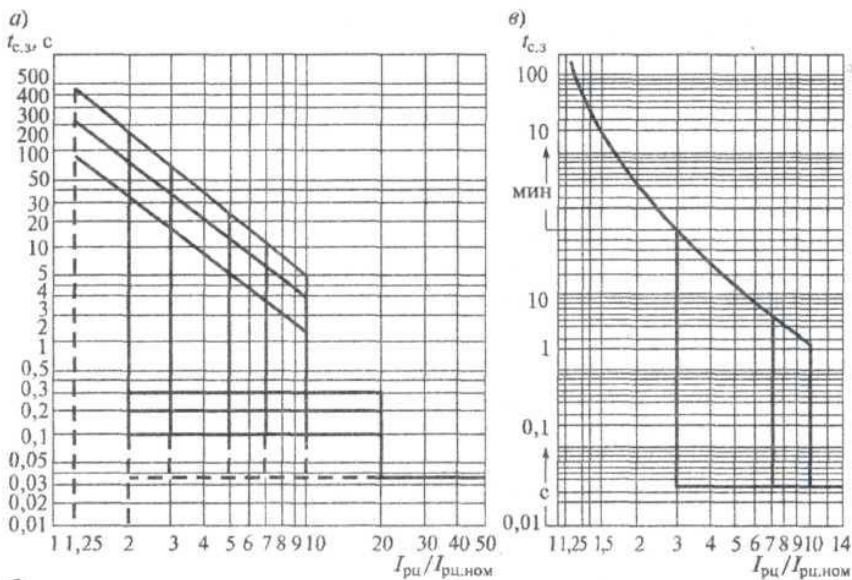


Рис. 25. Защитные характеристики расцепителей автомата ВА5000: полупроводникового от междуфазных КЗ (а) и от однофазных КЗ (б); комбинированного (в)

Ток срабатывания последней устанавливается заводом-изготовителем в пределах $(0,5—1)I_{\text{рцном}}$, а выдержка времени принимает значение выдержки времени токовой отсечки.

Полупроводниковый расцепитель допускает регулировку в условиях эксплуатации:

- а) номинального тока расцепителя $I_{\text{рцном}}$;
- б) тока срабатывания отсечки;
- в) выдержки времени токовой отсечки $t''_{\text{с.з.}}$ (у селективных выключателей);
- г) выдержки времени третьей ступени защиты $t'''_{\text{с.з.}}$ при токе $6I_{\text{рцном}}$.

Пределы регулирования указаны в табл. 20 и 21. Истинные значения параметров расцепителя могут отличаться от указанных в табл. 20 и 21. Погрешности примерно такие же, как у полупроводникового расцепителя серии РП, устанавливаемого на выключателях серии А3700. Коэффициент возврата 0,97—0,98.

Селективные автоматические выключатели (см. табл. 21) при определенных значениях тока КЗ отключаются без выдержки времени. Этот ток зависит от номинального тока выключателя. Для выключателя ВА55-37, например, он должен быть не менее 20 кА.

Таким образом, селективные автоматические выключатели имеют трехступенчатую токовую защиту, а неселективные выключатели серии ВА53 и ВА54 — двухступенчатую, причем первая ступень создается и полупроводниковым, и электромагнитным расцепителями. Ток срабатывания электромагнитного расцепителя не регулируется. Он равен 120% наибольшей уставки отсечки полупроводникового расцепителя. Например, для выключателей ВА53-37 и ВА53-39 (см. табл. 20) его кратность по отношению к номинальному току расцепителя равна 12 ($10 \cdot 1,2$).

Таблица 20. Пределы регулирования уставок выключателей ВА5300 и ВА5400

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя $I_{\text{н.ном}}^*$, А	Регулируемые уставки полупроводникового расцепителя		
		$I_{\text{рл.ном}} / I_{\text{н.ном}}$	$k_{\text{с.з}}^I = I_{\text{с.з}}^I / I_{\text{рл.ном}}$	$t_{\text{с.з}}^{III}$ при $6I_{\text{рл.ном}}^*$, с
ВА53-37	160; 250; 400	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7; 10	4; 8; 16
ВА53-39	160; 250; 400; 630	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7; 10	4; 8; 16
ВА53-41	1000	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7	4; 8; 16
ВА53-43	1600	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7	4; 8; 16
ВА54-37	160; 250; 400	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7; 10	4; 8; 16
ВА54-39	400; 500; 630	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7; 10	4; 8; 16
ВА54-41	1000	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5	4; 8; 16

Примечание. Для всех типов выключателей:

- 1) $k_{\text{с.з}}^{III} = I_{\text{с.з}}^{III} / I_{\text{рл.ном}} = 1,25$;
- 2) отношение тока срабатывания защиты нулевой последовательности к току $I_{\text{рл.ном}}$ равно 0,5—1;
- 3) ток срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{\text{с.з}}^I$ равен 120 % наибольшей уставки отсечки полупроводникового расцепителя.

Таблица 21. Пределы регулирования уставок выключателей ВА5500 и ВА7500

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя $I_{\text{н.ном}}^*$, А	Регулируемые уставки полупроводникового расцепителя		$I_{\text{с.з}}^I$, кА
		$I_{\text{рл.ном}} / I_{\text{н.ном}}$	$k_{\text{с.з}}^{II} = I_{\text{с.з}}^{II} / I_{\text{рл.ном}}$	
ВА55-37	160; 250; 400	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7; 10	20
ВА55-39	160; 250; 400; 630	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7; 10	25
ВА55-41	1000	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7	25
ВА55-43	1600	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7	31
ВА75-45	2500	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7	36
ВА75-47	2500	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7	45
	4000	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5	

II.2.5. Тепловые реле

Некоторые магнитные пускатели имеют встроенное тепловое реле, которое обеспечивает автоматическое отключение контактора при длительном токе нагрузки, превышающем номинальный ток. Основным элементом тепловых реле (тепловых расцепителей) является биметаллическая пластина 2 (рис. 26), состоящая из двух пластин с различными коэффициентами линейного расширения. Пластины в месте прилегания скрепляются сваркой. Если один конец пластин закрепить неподвижно, а пластины нагревать, то происходит их изгиб в сторону пластины с меньшим коэффициентом расширения. Это свойство биметаллических пластин используется в тепловых реле. В тепловом реле (рис. 26 а) контролируемый ток силовой цепи пропускают через резистор-нагреватель 3 (или через пластины 2), который разогревает биметаллическую пластину 2, удерживающую рычаг 4. При перегрузке током биметаллическая пластинка постепенно нагреваясь и деформируясь под влиянием тепла, излучаемого нагревателем, освобождает рычаг 4, который под действием пружины 1 поворачивается против направления вращения стрелки часов, а пружина 7 размыкает контакты реле, включенные в цепь управления пускателя (рис.27). Для приведения в исходное положение (т.е. охлаждения) биметаллической пластинки, вместе с ней и защищаемого от перегрузки током двигателя, требуется примерно 5...10 мин. Выдержка времени срабатывания теплового реле зависит от тока нагревателя, предварительного режима нагрузки и температуры окружающей среды (рис. 26 б), если в реле не предусмотрена температурная компенсация.

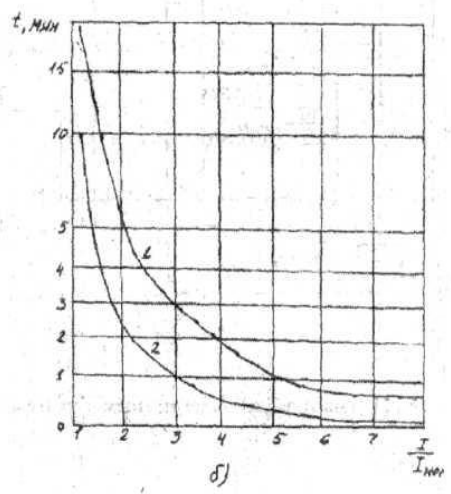
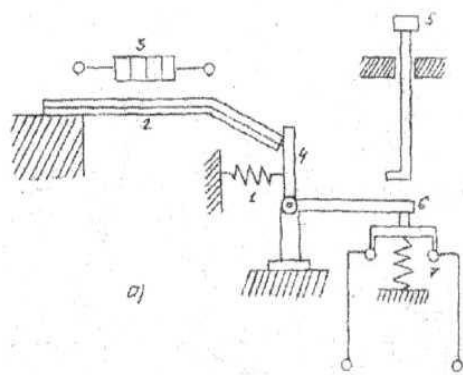


Рис. 26: а – схема устройства теплового реле; б – характеристика (1- холодного реле; 2 – реле, нагретого номинальным током)

Каждое тепловое реле характеризуют током срабатывания $I_{ср}$ - наименьшим током, при котором срабатывает реле. Тепловые реле, настроенные на ток установки $I_y = I_{ном.дв.}$ не срабатывают при этом токе и срабатывают столько при токе $I_{ср} = (1,2...1,3) I_y$. Они размыкают свои контакты в цепи

управления магнитного пускателя по истечении 20 минут от начала перегрузки (рис. 26 б и рис. 27).

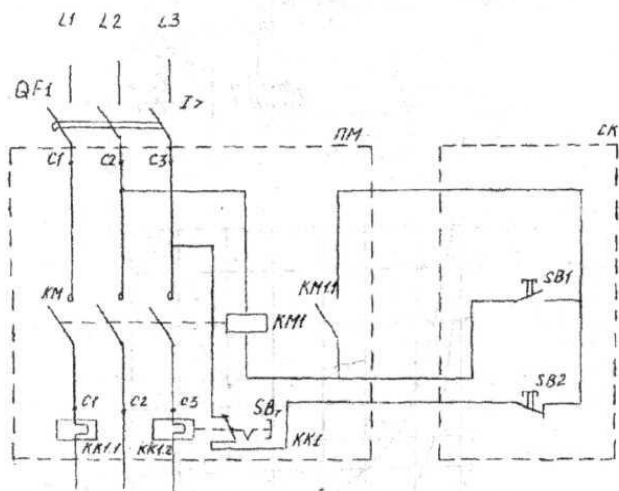


Рис. 27. Схема управления магнитным пускателем

Тепловые реле бывают двухполюсные, встраиваемые в магнитные пускатели на номинальный ток до 40 А, и однополюсные, используемые в более мощных аппаратах. Нагревательные элементы тепловых реле КК1.1, КК1.2 включают в две фазы силовой цепи (рис.27), а размыкающие контакты КК1, КК2 вводят в цепь управления магнитного пускателя и соединяют последовательно с катушкой контактора КМ1, что приводит, при срабатывании реле, т.е. при размыкании контактов КК1 и КК2, к автоматическому отключению контактором двигателя от питающей сети. Для получения более совершенной защиты двигателя от перегрузок следует его и тепловое реле ставить в одинаковые условия по отношению к температуре окружающей среды. Так как тепловое реле не может мгновенно реагировать на токи короткого замыкания, а главные контакты контактора не рассчитаны и поэтому не способны отключать ток выше десятикратного по отношению к номинальному току, то при применении магнитных пускателей во избежание сгорания их от токов К.З. необходимо наряду с тепловым реле устанавливать еще плавкие пре-

дохранители или автоматический выключатель QF с максимальными электромагнитными расцепителями (рис. 27).

В настоящее время отечественная промышленность выпускает тепловые реле серии РТЛ (таблица 22) для защиты асинхронных двигателей от перегрузок и обрыва фазы, которые встраиваются в магнитные пускатели серии ПМЛ. Эти пускатели заменили снятые с производства пускатели ПМЕ и ПАЕ. Кроме защиты от перегрузок и обрыва фазы в магнитных пускателях ПМЛ обеспечивается защиты от токов КЗ с помощью встроенных предохранителей или автоматов с электромагнитным расцепителем, а также «нулевая» защита при снижении напряжения в сети до $0,4 U_{ном}$ или полном его исчезновении в процессе работы.

Тепловые реле магнитных пускателей выбирают согласно условию

$$I_{тр} \geq 1,25 I_{нд}$$

где $I_{тр}$ – стандартное значение тока теплового реле;
 $I_{нд}$ – номинальный ток двигателя.

Таблица 22. Технические данные тепловых реле РТЛ

Параметр	Тип реле		
	РТЛ-25	РТЛ-80	РТЛ-200
Номинальный ток реле, А	25	80	200
Пределы регулирования тока срабатывания	0,1...0,17	18...25	75...105
	0,16...0,26	23...32	95...125
	0,24...0,4	30...40	120...160
	0,38...0,65	38...50	150...200
	0,61...1,0	47...57	
	0,95...1,6	54...66	
	1,5...2,6	63...80	
	2,4...4,0		
	3,8...6,0		
	5,5...8,0		
7,0...10			
Номинальный ток пускателя типа ПМЛ, А	10, 25	40, 63, 80, 125	200

II.2.6. Плавкие предохранители

Плавким предохранителем называется аппарат, который при токе, большем заданной величины, размыкает электрическую цепь путем расплавления плавкой вставки. Он применяется для защиты электроустановок от токов КЗ.

Предохранители различаются по классификационным признакам, общим для всех аппаратов, а также по указанным ниже признакам:

1. С открытой плавкой вставкой, которые не имеют устройств, ограничивающих объем дуги, выброс пламени и частиц расплавленного металла;

2. С полузакрытым патроном, у которого оболочка патрона открыта с одной или двух сторон, что несколько ограничивает опасность для находящихся вблизи людей и опасность перекрытия между фазами;

3. С закрытым патроном, при котором не получается выброса пламени, опасного для находящихся вблизи людей или могущего вызвать перекрытие между частями, находящимися под напряжением.

Современные предохранители обычно делают с закрытым патроном. В зависимости от способа гашения дуги различают предохранители с наполнением, наполненным мелкозернистым кварцевым песком, в котором происходит гашение дуги, и без наполнителя, у которых гашение дуги происходит вследствие высокого давления в патроне или движения газов.

Плавкие предохранители делятся также на инерционные - с большой тепловой инерцией, т.е. способностью выдерживать значительные кратковременные нагрузки, и безинерционные - с малой тепловой инерцией, т.е. с ограниченной способностью к перегрузкам.

Первые предназначены для работы в цепях, где возможны кратковременные толчки тока, в частности, в цепях электродвигателей, вторые - в цепях, где толчки отсутствуют и требуется большое быстродействие - в цепи полупроводниковых выпрямителей.

Основными частями плавких предохранителей являются (рис. 28) основание, патрон, плавкая вставка, контактные стойки. На основании закрепляются контактные стойки, к которым присоединяются проводники защищаемой цепи, между которыми включена плавкая вставка. Плавкая вставка находится внутри патрона, состоящего из изоляционной оболочки, армированной деталями для крепления плавкой вставки и подвода тока к ней.

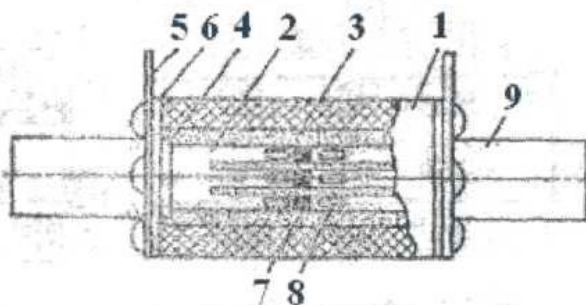


Рис. 28. Предохранитель типа ПН-2:

1 – корпус; 2 – ленточная вставка; 3 – наполнитель; 4 – диск; 5 – пластина; 6 – асбестовая прокладка; 7 – оловянные полоски (металлургический эффект); 8 – места сужения; 9 – ножевые контакты

Плавкая вставка является основной частью предохранителей, которая полностью определяет характеристики предохранителей. К ним относятся: защитная характеристика, номинальный режим, разрывная способность и перенапряжение при отключении. Плавкие вставки обычно изготавливаются из меди и цинка, реже из свинца вследствие относительной дешевизны и коррозионной стойкости этих материалов. Очень редко в наиболее ответственных случаях применяют серебро.

В инерционных предохранителях, т.е. когда требуется получить большую выдержку времени при перегрузках

применяют плавкую вставку из цинка и свинца. В безинерционных предохранителях, т.е. с ограниченной способностью к перегрузкам, применяют медь и в редких случаях серебро.

Применение того или иного материала в качестве плавкой вставки также зависит от способности гашения дуги.

Зависимость времени отключения от тока называют защитной характеристикой плавкой вставки. На рис. 29 приведена типичная характеристика плавкой вставки предохранителя. Откуда видно, что токовременная характеристика имеет обратную зависимость тока от времени перегорания плавкой вставки. То есть, чем больше значение тока, тем меньше время перегорания и наоборот. Защитная характеристика показывает, что плавкая вставка не перегорает при кратности тока $K = 2,5$ и времени действия КЗ 8 с, а также кратности тока 1,6 и времени 10 с. При кратности тока меньше чем 1,6 плавкие вставки выдерживают токи на 30-50% выше номинальных в течение одного часа и более.

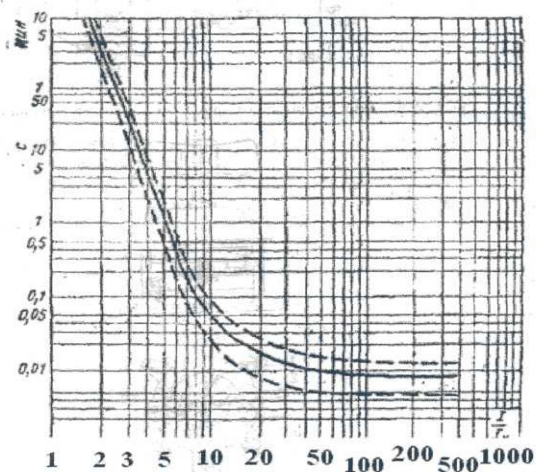


Рис. 29. Времятоковая характеристика предохранителя

Поэтому при выборе плавких вставок предохранителей исходят из длительности и частоты появления пусковых и пиковых токов. Характеристики плавких вставок на большие токи лежат выше характеристик плавких вставок на меньшие номинальные токи, что используется для обеспечения селективности защита.

Для обеспечения надежной работы предохранителя необходимо, чтобы номинальный ток его отключения $I_{\text{пр.откл}}$ был больше максимального расчетного тока короткого замыкания $I_{\text{к макс}}$, проходящего в защищаемом элементе, а номинальное напряжение предохранителя $U_{\text{пр.ном}}$ равно номинальному напряжению сети U_c , в котором он установлен, т. е.

$$I_{\text{пр.откл}} > I_{\text{к макс}} \text{ и } U_{\text{пр.ном}} = U_c \quad (6)$$

Плавкая вставка предохранителя выполняет функции простейшей токовой защиты с зависимой выдержкой времени. Ее параметром является номинальный ток $I_{\text{вс.ном}}$. Выбранная плавкая вставка должна удовлетворять следующим требованиям:

$$\begin{aligned} I_{\text{вс.ном}} &\geq k_{\text{отс}} I_{\text{раб.мах}} \text{ (первое условие);} \\ I_{\text{вс.ном}} &\geq I_{\text{пер}} / k_{\text{пер}} \text{ (второе условие);} \\ I_{\text{вс.ном}} &\leq I_{\text{к мин}} / (10 \dots 15) \text{ (третье условие),} \end{aligned} \quad (7)$$

где $I_{\text{раб макс}}$ — максимальный рабочий ток, проходящий через предохранитель; $k_{\text{отс}} = 1, 1 \dots 1, 25$ — коэффициент отстройки.

Ток кратковременной перегрузки $I_{\text{пер}}$ принимают большим из двух значений рассчитанных:

- для случая пуска наиболее мощного электродвигателя и режима нормальной работы всех остальных потребителей, подключенных к защищаемой линии:

$$I_{\text{пер}} = k_c \sum_1^{n-1} I_{\text{раб max}} + I_{\text{пск max}} ; \quad (8)$$

- для режима самозапуска оставшихся в работе электродвигателей, возникающего после отключения поврежденного потребителя:

$$I_{\text{пер}} = \sum_1^m I_{\text{пск}} , \quad (9)$$

где $\sum_1^{n-1} I_{\text{раб max}}$ - сумма максимальных рабочих токов всех потребителей, присоединенных к защищаемой линии без учета электродвигателя с наибольшим пусковым током $I_{\text{пск max}}$; $\sum_1^m I_{\text{пск}}$ - сумма пусковых токов самозапускающихся электродвигателей; n — число потребителей; m — число самозапускающихся электродвигателей; k_c — коэффициент спроса, $k_c < 1$.

В зависимости от характера нагрузки и необходимости самозапуска номинальный ток плавкой вставки выбирают по первому или второму условию (7), принимают ближайшее большее значение по шкале стандарта токов и проверяют по третьему условию при наличии в защищаемой сети магнитных пускателей или контакторов. Невыполнение этого требования может привести к отключению магнитных пускателей и контакторов из-за снижения напряжения при КЗ.

К предохранителям, как и к другим устройствам защиты, предъявляют следующие требования чувствительности:

1. Номинальный ток плавкой вставки должен быть, по крайней мере, в три раза меньше минимального тока КЗ в конце защищаемого участка I_{Kmin} ; в сетях напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью расчетным при определении I_{Kmin} является замыкание между фазным и нулевым проводами.

2. Если предохранитель защищает сеть только от коротких замыканий, то требования, изложенные в п. 1, не обязательны при условии, что номинальный ток плавкой вставки не превышает длительно допустимого тока $I_{дл.доп}$ для защищаемого участка сети более чем в три раза.

3. Для сетей, защищаемых от перегрузки, кроме требований, изложенных в п. 1, должно выполняться условие $I_{дл.доп} \geq k' I_{вс.ном}$; коэффициент k' определяется типом изоляции проводников и условиями их эксплуатации. Для проводников с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией, проложенных во взрывоопасных производственных помещениях, $k' = 1,25$, в помещениях невзрывоопасных $k' = 1$, для кабелей с бумажной изоляцией во всех случаях $k' = 1$.

Для выполнения требований, изложенных в п. 3, часто увеличивают сечения проводника, увеличивая тем самым его длительно допустимый ток. Предохранитель, как и любое другое устройство защиты, должен удовлетворять требованиям селективности. А это значит, что если в сети установлено несколько последовательно включенных предохранителей, то при КЗ в какой-либо точке сети должен перегореть ближайший к точке повреждения предохранитель. На основании длительной эксплуатации установлено, что фактическое время отключения предохранителя $t_{пр}$ может отличаться от полученного по его защитной характеристике $\Delta t_{пр} = \pm 0,5 t_{пр}$. При этом селективность при больших кратностях тока обеспечивается, если $1,5t_{пр2} = 0,5t_{пр1}$, или $t_{пр1} \geq 3t_{пр2}$. Таким образом, для получения селективного действия последовательно включенных предохранителей необходимо, чтобы при максимальном токе КЗ время отключения $t_{пр1}$, определенное по защитной характеристике предохранителя F1, более удаленного от места повреждения, было не менее чем в три раза больше времени отключения $t_{пр2}$ предохранителя F2, расположенного вблизи точки короткого замыкания. Для разнотипных предохранителей селективность следует проверять для всех токов цепи в нормальном режиме и при коротких замыканиях.

Основными типами предохранителей напряжением до 1 кВ являются: ПН2 и ПП17 — разборные с наполнителем, НПН — неразборные с наполнителем. Находят применение и предохранители ПР2 — разборные без наполнителя. В табл. 23 даны технические параметры этих предохранителей, а на рис. 29 — их защитные характеристики.

Таблица 23. Технические данные предохранителей до 1000 В

Тип предохранителя	Номинальный ток, А	
	патрона предохранителя $I_{\text{пр.ном}}$	плавкой вставки $I_{\text{вс.ном}}$
ПН2	100	31,5; 40; 50; 63; 80; 100
	250	80; 100; 125; 160; 200; 250
	400	200; 250; 315; 355; 400
	630	315; 400; 500; 630
ПП17	1000	500; 630; 800; 1000
НПН2	60	6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 63
ПР2	15	6; 10; 15
	60	16; 20; 25; 35; 45; 60
	100	60; 80; 100
	200	100; 125; 160; 200
	350	200; 235; 260; 300; 350
	600	350; 430; 500; 600
	1000	600; 700; 850; 1000

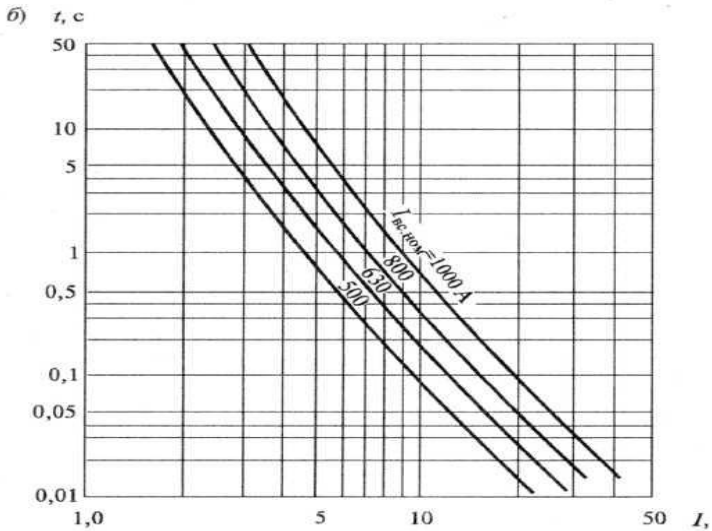
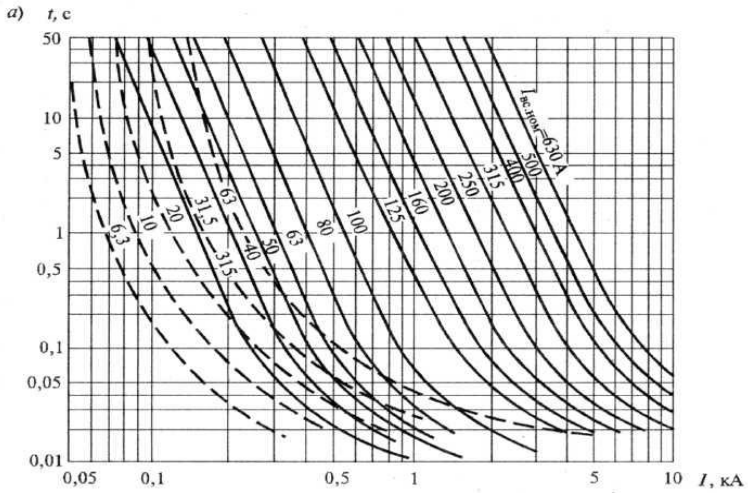


Рис. 29. Защитные характеристики предохранителей: а - ПН2 (сплошные линии) и НПН (штриховые линии); б - ПП17

III. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить общие принципы выполнения релейной защиты, назначение, устройство, принцип действия, технические характеристики основных элементов релейной защиты: электромагнитных реле, индукционных реле, автоматических выключателей, тепловых реле, плавких предохранителей.
2. Приобрести в процессе занятий практические навыки по разборке, сборке, регулировке, ремонту, эксплуатации основных аппаратов защиты.
3. Оформить лабораторную работу, кратко изложив основные теоретические положения, рисунки, схемы, характеристики аппаратов защиты. Составить заключение по результатам выполненной работы.

IV. Контрольные вопросы

1. Структурная схема РЗ.
2. Способы включения реле.
3. Основные параметры токовой РЗ.
4. Основные и резервные защиты.
5. Условные обозначения реле на схемах. Виды схем РЗ.
6. Устройство и принцип действия электромагнитных реле.
7. Устройство и принцип действия электромагнитных реле тока.
8. Устройство и принцип действия электромагнитных реле напряжения.
9. Устройство и принцип действия промежуточных электромагнитных реле.
10. Устройство и принцип действия реле с герметизированными магнитоуправляемыми контактами.
11. Устройство и принцип действия электромагнитных указательных реле.

12. Устройство и принцип действия реле времени.
13. Устройство и принцип действия поляризованных реле.
14. Устройство и принцип действия индукционных реле.
15. Устройство и принцип действия индукционных измерительных реле тока.
16. Устройство и принцип действия реле направления мощности.
17. Параметры и характеристики вторичных реле тока.
18. Устройство и принцип действия автоматических выключателей.
19. Устройство, принцип действия, характеристики автоматических выключателей АЗ100, АЗ700, «Электрон», ВА5000.
20. Устройство, принцип действия, характеристики тепловых реле.
21. Устройство, принцип действия плавких предохранителей.
22. Разработать упрощенную схему РЗ для сети, оборудования напряжением до 1000 В с использованием рассмотренных аппаратов защиты.

Практические занятия

При решении задач необходимо руководствоваться теоретическим материалом, техническими параметрами, характеристиками аппаратов защиты, изложенными выше.

Задача №1

Длительно допустимый ток проводов $I_{\text{дл.доп}}$ в сети до 1000В, защищаемых предохранителем только от токов КЗ, составляет 25А. Определить максимально допустимый номинальный ток плавкой вставки $I_{\text{вс.ном}}$.

Решение

Если предохранитель защищает сеть только от токов КЗ, то номинальный ток плавкой вставки не должен быть больше $I_{\text{дл.доп}}$ защищаемого участка сети более, чем в 3 раза, т.е.

$$I_{\text{вс.ном}} \leq 3 I_{\text{дл.доп}} = 3 * 25 = 75 \text{ А.}$$

Выбираем предохранитель ПН2 с номинальным током плавкой вставки $I_{\text{вс.ном}} = 80 \text{ А}$.

Задача №2

Участок сети напряжением до 1000 В защищается предохранителем от токов КЗ. Минимальный ток КЗ в конце сети $I_{\text{к.мин}} = 800 \text{ А}$. Определить максимально допустимый номинальный ток плавкой вставки $I_{\text{вс.ном}}$.

Решение

В соответствии с требованиями ПУЭ номинальный ток плавкой вставки должен быть по крайней мере в три раза меньше минимального тока КЗ в конце защищаемого участка, т.е. в нашем случае

$$I_{\text{вс.ном}} = I_{\text{к.мин}} / 3 = 800 / 3 = 267 \text{ А.}$$

Выбираем предохранитель типа ПН2 с номинальным током патрона предохранителя $I_{\text{пр.ном}} = 400 \text{ А}$ и номинальным током плавкой вставки $I_{\text{вс.ном}} = 315 \text{ А}$.

Задача №3

Длительно допустимый ток участка сети напряжением до 1000В, защищаемого предохранителем от токов КЗ и токов перегрузки, $I_{дл.доп} = 100\text{А}$. Определить максимально допустимый номинальный ток плавкой вставки $I_{вс.ном}$, если участок выполнен:

- а) кабелем с бумажной изоляцией;
- б) кабелем с резиновой изоляцией, проложенным во взрывоопасном производственном помещении.

Решение

Согласно ПУЭ для сетей, в которых обязательна защита не только от токов КЗ, но и от перегрузки, при выборе плавких вставок должны выполняться следующие условия:

а) для кабелей с бумажной изоляцией длительно допустимый ток должен быть не менее номинального тока плавкой вставки:

$$I_{вс.ном} = I_{дл.доп} = 100 \text{ А};$$

б) для проводов с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией, проложенных во взрывоопасных производственных помещениях, длительно допустимый ток должен быть не менее 125% номинального тока плавкой вставки:

$$I_{вс.ном} = I_{дл.доп} / 1,25 = 100 / 1,25 = 80 \text{ А}.$$

Задача №4

Предохранитель ПН-2 защищает линию напряжением до 1000 В, максимальный рабочий ток которой $I_{раб.мах} = 30 \text{ А}$. Кратковременная перегрузка $I_{пер} = 80\text{А}$. Коэффициент перегрузки $k_{пер} = 2$, коэффициент отстройки $k_{отс} = 1,2$. Определить номинальный ток плавкой вставки, если:

- а) в сети не установлены магнитные пускатели;
- б) последовательно с предохранителем установлен магнитный пускатель.

Минимальный ток КЗ в конце защищаемой линии $I_{к.мин} = 400 \text{ А}$.

Решение

Чтобы не допустить перегорания плавких вставок в условиях нормальной эксплуатации, при выборе предохранителя и его плавкой вставки должны выполняться следующие требования:

а) при отсутствии магнитных пускателей предохранитель не должен отключать линию в нормальных режимах и при кратковременных перегрузках:

$$1. I_{вс.ном} \geq k_{отс} I_{раб.мах} = 1,2 * 30 = 36 \text{ А};$$

$$2. I_{вс.ном} \geq I_{пер} / k_{пер} = 80/2 = 40 \text{ А}.$$

Следует выбрать плавкую вставку с номинальным током $I_{вс.ном} = 40 \text{ А}$;

б) при наличии магнитных пускателей надо исключить их отключение при КЗ, которое может произойти из-за возможного снижения напряжения. Поэтому выбранную плавкую вставку необходимо проверить по условию

$$I_{вс.ном} \leq I_{к.мин} / 10 = 400/10 = 40 \text{ А}.$$

Таким образом, при наличии магнитных пускателей выбранная плавкая вставка может рассматриваемую линию защитить.

Задача №5

Минимальный ток КЗ в самой удаленной точке защищаемой цепи

$I_{к.мин} = 850 \text{ А}$. Для защиты предполагается использовать автоматический выключатель АЗ100 с комбинированным расцепителем. Исходя из требований ПУЭ определить максимально допустимый номинальный ток расцепителя

$I_{рц.ном}$ и уточнить тип выключателя (последние две цифры в обозначении).

Решение

Согласно ПУЭ для обеспечения требуемой чувствительности должно выполняться условие $I_{к.мин} / I_{рц.ном} \geq 3$, т.е. для нашего случая $I_{рц.ном} \leq 850 / 3 = 283 \text{ А}$. Выбираем по таблице автоматический выключатель АЗ140 с $I_{рц.ном} = 250 \text{ А}$. Для исключения срабатывания расцепителя в нормальном режиме его номинальный ток должен быть не менее $I_{раб.мах}$, т.е. $I_{раб.мах} \leq I_{рц.ном} = 250 \text{ А} \leq I_{к.мин} / 3 = 283 \text{ А}$.

Задача №6

На кабельной линии в сети напряжением 380 В установлен автоматический выключатель АЗ712Ф, имеющий только электромагнитный расцепитель (см.табл. 16). Номинальный ток расцепителя $I_{рц.ном} = 160\text{А}$, а его ток срабатывания $I_{с.з} = 1000\text{ А}$. Определить минимальный длительно допустимый ток линии $I_{дл.доп}$, при котором обеспечивается защита от токов КЗ.

Решение

Согласно ПУЭ при использовании автоматического выключателя, имеющего только расцепитель мгновенного действия, защита от токов КЗ обеспечивается, если выполняется условие $I_{сз} \leq 4,5 I_{дл.доп}$, или

$$I_{дл.доп} \geq I_{сз} / 4,5 = 1000 / 4,5 = 222\text{А}.$$

Задача №7

Максимальный рабочий ток в линии напряжением до 1000 В $I_{рабтах} = 250\text{А}$, минимальный ток КЗ в пределах защищаемой линии $I_{к.мин} = 1375\text{ А}$. При повреждении линия должна отключаться с временем, не большим, чем 0,1 с. Проверить возможность использования для защиты линии автоматического выключателя АЗ100.

Решение

Для теплового расцепителя автоматического выключателя номинальный ток $I_{рц.ном}$ должен быть не менее максимального рабочего тока защищаемой линии, т.е $I_{рц.ном} \geq I_{рабтах}$. Поэтому необходимо выбрать автоматический выключатель АЗ130 с $I_{рц.ном} = 250\text{А}$ (см. табл. 14). В этом случае ток срабатывания электромагнитного расцепителя (ток срабатывания отсечки)

$$I_{с.з} = k_{с.з} / I_{рц.ном} = 7 * 250 = 1750\text{А},$$

т.е. он больше минимального тока КЗ, равного 1375 А, и отсечка не срабатывает. При таком токе, как следует из характеристики, автоматический выключатель АЗ140

отключается тепловым расцепителем с временем, равным 24 с. (см. рис. 21, а).

Задача №8

Характеристики автоматических выключателей А3700 с комбинированным расцепителем даны на рис. 23. Ток срабатывания электромагнитного расцепителя (отсечки) может отличаться от тока, указанного в защитной характеристике, на $\pm 15\%$. В цепи установлен автоматический выключатель А3716Б с номинальным током расцепителя $I_{рц.ном} = 100\text{А}$ (см. табл. 15). Определить:

- 1) максимальный ток I_{max} , при котором выключатель еще будет отключаться тепловым элементом комбинированного расцепителя;
- 2) минимальный ток I_{min} , при котором выключатель уже будет отключаться без выдержки времени электромагнитным элементом.

Решение

Из табл. 15 ток мгновенного срабатывания расцепителя с $I_{рц.ном} = 100\text{А}$ равен 1600 А. С учетом погрешности $\pm 15\%$ ток $I_{max} = 1,15 * 1600 = 1840\text{А}$, а ток $I_{min} = 0,85 * 1600 = 1360\text{А}$. При токах более 1360 А, но менее 1840 А выключатель будет отключаться либо тепловым элементом с соответствующей выдержкой времени, либо электромагнитным элементом за время не более 0,04 с. (см.рис 23).

Литература

1. Киреева Э.А., Цырук С.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. – М.: Академия, 2010.
2. Андреев В.А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 2008.
3. Шаякберов Н.Ш. Сборник методических указаний к лабораторным работам и практическим занятиям. – Наб. Челны: Изд-во ИНЭКА, 2006.
4. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. – М.: Форум, 2011.

Содержание

Лабораторная работа. Электрические аппараты в устройствах релейной защиты систем электроснабжения.....	3
II. Основные теоретические положения.....	3
II.1. Основные принципы выполнения релейной защиты.....	3
II.2. Общие сведения об аппаратах защиты.....	9
II.2.1. Электромагнитные реле.....	10
II.2.1.1. Электромагнитные реле тока	13
II.2.1.2. Электромагнитные реле напряжения.....	15
II.2.1.3. Промежуточные электромагнитные реле.....	16
II.2.1.4. Реле с герметизированными магнитоуправляемыми контактами.....	21
II.2.1.5. Электромагнитные указательные реле.....	23
II.2.1.6. Электромагнитные реле времени.....	24
II.2.1.7. Электромагнитные поляризованные реле.....	26
II.2.2. Индукционные реле.....	28
II.2.2.1. Индукционные измерительные реле тока.....	31
II.2.2.2. Индукционные реле направления мощности.....	34
II.2.3. Параметры и характеристики основных реле, используемых в цепях защиты.....	37
II.2.3.1. Вторичные реле тока прямого действия РТВ.....	37
II.2.3.2. Вторичные реле тока РТМ и электромагниты УАТ пружинных приводов.....	40
II.2.3.3. Вторичные реле тока косвенного действия РТ-81...РТ-86.....	40
II.2.3.4. Вторичные реле тока косвенного действия РТ40, РТ-140.....	43
II.2.3.5. Аналоговые вторичные реле тока косвенного действия РСТ11, РСТ12.....	44
II.2.3.6. Аналоговые вторичные реле напряжения косвенного действия РСН15, РСН17.....	45
II.2.3.7. Вторичные реле напряжения косвенного действия РН-53, РН-54.....	46
II.2.3.8. Реле времени серии РВ-100.....	46
II.2.3.9. Реле времени серии РВМ-12, РВМ-13.....	47
II.2.3.10. Промежуточные реле постоянного тока РП23, РП24.....	48

II.2.3.11. Промежуточные реле переменного тока РП-321, РП-341.....	49
3.12. Реле тока в схемах защит от замыкания на землю.....	49
II.2.4. Автоматические выключатели.....	50
II.2.4.1. Автоматические выключатели серии А3100.....	52
II.2.4.2. Автоматические выключатели серии А3700.....	54
II.2.4.3. Автоматические выключатели серии «Электрон».....	60
II.2.4.4. Автоматические выключатели серии ВА 5000.....	62
II.2.5. Тепловые реле.....	67
II.2.6. Плавкие предохранители.....	71
III. Порядок выполнения лабораторной работы.....	79
IV. Контрольные вопросы.....	79
Практические занятия.....	81
Литература.....	86

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре
Набережночелнинского института
Казанского (Приволжского) федерального университета

Подписано в печать 05.04. 2016 г.
Формат 60x84/16. Печать ризографическая
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman»
Усл. п. л. 5,1 Уч.-изд. л. 5,1
Тираж 50 экз. Заказ № 710

423810, г.Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19
тел./факс (8552) 39-65-99 e-mail: ic-nchi-kpfu@mail.ru

