

БП 2.13  
К-585

*Библиотека*  
**ЭЛЕКТРОМОНТЕРА**

А.Н.Кожин

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА  
ЛИНИЙ 3-10 *кв*  
НА ПЕРЕМЕННОМ  
ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ**

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

С1005126



БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

---

---

672.1  
к 588

Выпуск 38

А. Н. КОЖИН

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА  
ЛИНИЙ 3—10 кВ  
НА ПЕРЕМЕННОМ  
ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА 1960 ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В., Смирнов А. Д.,  
Устннов П. И.

---

ЭЭ-3-3

В брошюре изложено в доступной форме назначение и способы выполнения релейной защиты линий 3—10 кв на переменном оперативном токе, а также дано описание применяемой аппаратуры.

Назначение брошюры — служить пособием электромонтеру при монтаже и эксплуатации устройств релейной защиты на переменном оперативном токе линий 3—10 кв промышленных предприятий и сельских потребителей. Она может быть также полезна для лиц, впервые знакомящихся с защитой на переменном оперативном токе.

с 1003126

Автор *Кожин Андрей Николаевич*  
РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ 3—10 кв НА ПЕРЕМЕННОМ  
ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ

Редактор *В. А. Семенов*

Техн. редактор *Н. И. Борунов*

Сдано в набор 14/IX 1960 г.

Подписано к печати 28/XI 1960 г.

T-14922 Бумага 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>

3,28 печ. л.

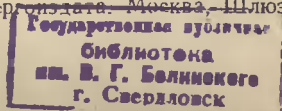
Уч.-изд. л. 3,3

Тираж 30 000 экз.

Зак. 2477

Цена 1 р. 15 к. (с 1/I 1961 г цена 12 коп.).

Типография Госэнергиздата, Москва, Шлюзовая наб., 10.



## ВВЕДЕНИЕ

Электроустановки снабжаются различными автоматическими устройствами, которые обеспечивают бесперебойное и качественное снабжение электроэнергией потребителей.

К числу таких устройств относится релейная защита и в частности — релейная защита линий 3—10 кВ.

Для питания цепей дистанционного управления выключателями, релейной защиты, автоматики и сигнализации могут быть использованы источники как постоянного, так и переменного тока. В качестве источников постоянного оперативного тока используются аккумуляторные батареи, а переменного оперативного тока — трансформаторы тока, трансформаторы напряжения и трансформаторы собственных нужд. Аккумуляторные батареи требуют больших затрат на установку их, а уход за ними отнимает много времени и внимания у обслуживающего персонала. В связи с этим в настоящее время в ряде случаев отказываются от применения постоянного оперативного тока и используют переменный оперативный ток.

Защита линий 3—10 кВ на переменном оперативном токе в большинстве случаев проще, надежнее и дешевле, чем защита на постоянном оперативном токе.

Промышленностью освоен выпуск аппаратуры, применение которой позволяет выполнить релейную защиту генераторов, трансформаторов, линий и других элементов на переменном оперативном токе. В настоящее время выпускаются приводы к выключателям, имеющие встроенные реле, реле тока и промежуточные реле с мощными контактами, реле времени, блоки питания и зарядные устройства.

Существуют следующие основные способы выполнения релейной защиты на переменном оперативном токе:

а) с использованием реле прямого действия, встраиваемых в приводы выключателей;

б) с дешунтированием катушки отключения выключателя, включенной во вторичную цепь трансформаторов тока;

в) с использованием блоков питания оперативных цепей от трансформаторов тока и напряжения, а также от трансформаторов собственных нужд;

г) с использованием энергии предварительно заряженного конденсатора;

д) с промежуточными насыщающимися трансформаторами тока для питания цепей защиты.

В настоящей брошюре рассмотрены защиты линий 6—10 кВ, выполненные по четырем первым способам как наиболее распространенным и использующим современную аппаратуру, выпускаемую промышленностью Советского Союза.

Использование промежуточных насыщающихся трансформаторов, например типа ТКБ-1, не может быть широко рекомендовано к применению, так как при больших токах короткого замыкания могут иметь место значительные повышения напряжения на зажимах вторичной обмотки трансформатора тока, что может привести к повреждениям ТКБ-1 или трансформаторов тока.

Часть вопросов, особенно конструкция и принцип действия некоторых реле, изложены в брошюре кратко. Наиболее полные сведения по вопросам защиты линий 3—10 кВ читатель может найти в литературе, список которой приводится в конце брошюры.

## 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ 3—10 кВ

### Повреждения линий 3—10 кВ

На кабельных и воздушных линиях напряжением 3—10 кВ в результате пробоя изоляции, перекрытия изоляторов, прикосновения к токоведущим частям посторонних металлических предметов и по другим причинам могут возникнуть короткие замыкания между фазами или замыкания одной фазы на землю.

Наиболее опасными являются короткие замыкания между фазами, к которым относятся замыкания между двумя или тремя фазами, а также замыкания двух фаз на землю в разных точках сети. В месте повреждения,

как правило, возникает электрическая дуга, которая разрушает оборудование. Короткие замыкания сопровождаются протеканием больших токов по поврежденной линии и другим элементам сети, что вызывает перегрев проводников, по которым они протекают, и механические повреждения. При замыканиях между фазами также имеет место значительное снижение напряжения в сети. Это приводит к нарушению работы электродвигателей, освещения и других потребителей электроэнергии.

Замыкания одной фазы на землю не вызывают нарушений питания потребителей и значительных разрушений электрооборудования и линий. Однако дуга, возникающая в месте повреждения, разрушает изоляцию, что может привести к замыканиям между фазами. Кроме того, наличие замыкания одной фазы на землю вызывает повышение напряжения неповрежденных фаз относительно земли в 1,73 раза. Это увеличивает вероятность пробоя на землю в других точках системы и возникновения замыкания между фазами через землю.

Для быстрой ликвидации повреждений предусматриваются устройства релейной защиты, которые производят автоматическое отключение поврежденной линии при междуфазных коротких замыканиях. При замыканиях одной фазы на землю защита, как правило, действует на сигнал.

На радиальных линиях для защиты их от повреждений между фазами предусматривается максимальная токовая защита с выдержкой времени и, если возможно, токовая отсечка, действующая без замедления. Для защиты от замыканий одной фазы на землю обычно предусматривается специальная защита нулевой последовательности.

### Приводы выключателей

Включение линий 3—10 кВ, как и их отключение, осуществляется с помощью выключателей, управление которыми производится с помощью приводов. Привод служит для включения, удерживания во включенном состоянии и отключения выключателя.

От типа привода зависит возможность осуществления релейной защиты на переменном оперативном токе. В связи с этим целесообразно познакомиться с привода-

ми выключателей 3—10 кВ и теми особенностями их конструкции, которые определяют в настоящее время с учетом выпускаемого промышленностью релейного оборудования возможность использования переменного оперативного тока.

Некоторые типы приводов имеют встроенные реле тока и катушки отключения со сравнительно малым по-

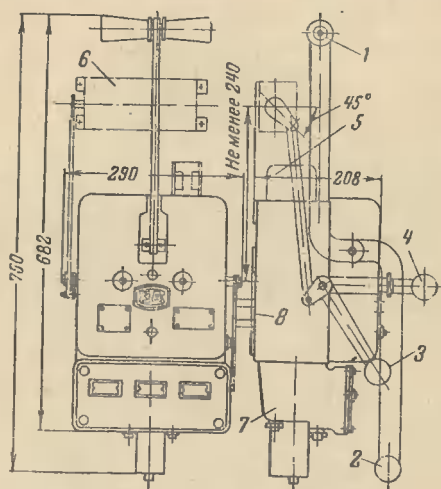


Рис. 1. Привод ПРБА.

1 — рычаг управления при включенном выключателе; 2 — то же при отключенном выключателе; 3 — механический указатель срабатывания в исходном положении; 4 — то же после автоматического отключения выключателя; 5 — контакты аварийной сигнализации; 6 — блокировочные контакты КСА; 7 — корпус со встроенными реле; 8 — тяга к выключателю.

треблением (на переменном токе порядка 50 вА). В настоящее время в эксплуатации могут встретиться следующие типы приводов, имеющие указанные реле тока и катушки отключения: КАМ, ПРА, ПРБА, УГП-51, ППМ-10 и др. Перечисленные приводы обычно применяются для управления выключателями следующих типов: ВМГ-133, ВМ-14, ВМ-16, ВМ-22 и ВМБ-10.

Соленоидные приводы, например привод типа ПС-10, не имеют встроенных реле тока, а их катушки отключения обладают сравнительно большим потреблением (на постоянном токе порядка 500 вА и более).

В качестве примера на рис. 1 изображен привод ПРБА. Привод имеет чугунный корпус, внутри которого помещается его механизм. Рукоятка служит для ручного включения и отключения выключателя. В нижней части привода расположены реле тока и катушки отключения. Привод может иметь от одного до трех реле или одно-два реле и катушку отключения. Привод не имеет устройства для дистанционного включения выключателя. Отключение выключателя, как уже сказано, может производиться вручную, а также при действии встроенных реле тока или катушек отключения.

В приводах типа УГП-51, ПГ-10, ПГМ-10, ППМ-10 и других предусматривается устройство для дистанционного включения выключателя. Включение производится за счет энергии падающего груза или пружины. Для включения предусматривается специальный электромагнит, при подаче напряжения на который производится освобождение груза или пружины. Подъем груза может производиться вручную вращением рукоятки, и только некоторые типы приводов (например, ППМ-10) дополнительно снабжены электродвигателем для этой цели. В этом случае подъем груза автоматизируется.

Наличие в приводе устройства для дистанционного включения позволяет выполнить автоматический ввод в работу резервной линии или других элементов сети (АВР) или автоматическое повторное включение поврежденной линии (АПВ). АВР и АПВ повышают надежность электроснабжения потребителей.

Выпускаемые в настоящее время приводы имеют три или четыре отключающих элемента. Под отключающим элементом понимается реле тока или катушка отключения. Приводимые ниже схемы защиты линий даны с учетом указанного числа отключающих элементов.

### Схемы соединения трансформаторов тока

На рис. 2 приведены три основные схемы соединений трансформаторов тока, используемых для релейной защиты линий 3—10 кВ. В схемах применяются два трансформатора тока, установленные в фазе А и в фазе С. На рис. 2 через  $L_1$  и  $I_1$  соответственно обозначены начала первичной и вторичной обмоток, а через  $L_2$  и  $I_2$ —концы этих обмоток. Для первичной обмотки за положительное принято направление тока от начала к концу обмотки,

а для вторичной обмотки — от конца к началу. Положительные направления токов обозначены стрелкой. Отметим, что далее в схемах полярность и положительные направления токов не показаны, а за начала обмоток принимаются верхние выводы.

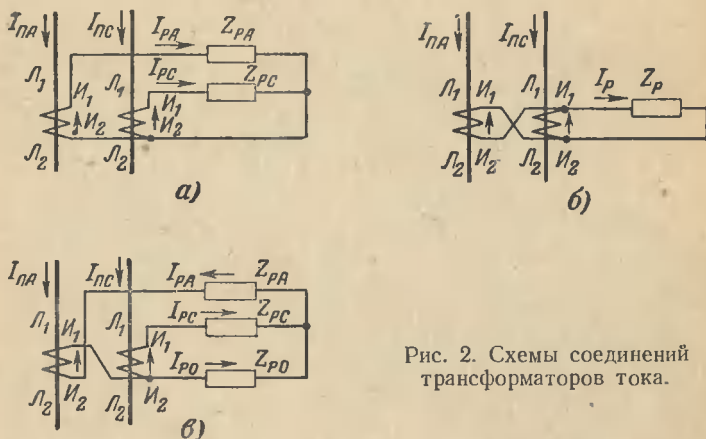


Рис. 2. Схемы соединений трансформаторов тока.

На рис. 2,а приведена схема соединений трансформаторов тока в неполную звезду. В этой схеме при любых видах коротких замыканий через реле тока фазы А протекает ток, определяемый по выражению

$$I_{р.А} = \frac{I_{п.А}}{n_T} \quad (1)$$

где  $I_{п.А}$  — ток, протекающий через первичную обмотку трансформатора тока в фазе А;

$n_T$  — коэффициент трансформации трансформатора тока.

Через реле фазы С протекает ток

$$I_{р.С} = \frac{I_{п.С}}{n_T}, \quad (2)$$

где  $I_{п.С}$  — ток, протекающий через первичную обмотку трансформатора тока в фазе С.

При такой схеме включения реле защиты реагируют на ток, протекающий в фазе А или С, т. е. реле включены на фазные токи.

На рис. 2,б приведена схема соединения трансформаторов тока на разность токов двух фаз. В схеме исполь-

зуется одно реле, через которое протекает разность вторичных токов в фазах  $A$  и  $C$ :

$$j_p = \frac{j_{п.А}}{n_T} - \frac{j_{п.С}}{n_T} \quad (3)$$

В отличие от схемы рис. 2,а в данной схеме величина тока в реле зависит не только от абсолютной величины тока в первичных обмотках трансформаторов тока, но и от угла между ними. В нормальных режимах работы линии, когда протекает симметричный трехфазный ток, или при трехфазных коротких замыканиях ток в реле равен:

$$I_p = \frac{\sqrt{3}I_{п.А}}{n_T} = \frac{\sqrt{3}I_{п.С}}{n_T} \quad (4)$$

При замыканиях между фазами  $A$  и  $C$  ток в реле равен:

$$I_p = \frac{2I_{п.А}}{n_T} = \frac{2I_{п.С}}{n_T} \quad (5)$$

И, наконец, при замыканиях между фазами  $A$  и  $B$  или  $B$  и  $C$ :

$$I_p = \frac{I_{п.А}}{n_T}; \quad I_p = \frac{I_{п.С}}{n_T} \quad (6)$$

На рис. 2,в приведена схема соединений трансформаторов тока, в которой реле  $Z_{рА}$  и  $Z_{рС}$  включены на фазные токи и для них справедливы соотношения (1) и (2), а реле  $Z_{р0}$  — на разность токов двух фаз и для него действительны соотношения (3)—(6).

Из вышеизложенного следует, что ток в реле можно определить, умножив вторичный ток трансформатора тока на некоторый коэффициент, который назовем коэффициентом схемы включения реле и обозначим через  $k_{сх}$ . Таким образом:

$$I_p = k_{сх} I_{в} = \frac{k_{сх} I_{п}}{n_T} \quad (7)$$

где  $I_{в}$  и  $I_{п}$  — соответственно ток во вторичной и первичной обмотках трансформатора тока.

При включении реле на фазные токи ток в реле равен вторичному току трансформатора тока, поэтому коэффициент схемы не зависит от вида повреждения и

равен  $k_{сх} = 1$ . При включении же реле на разность токов двух фаз коэффициент схемы зависит от вида повреждения. При протекании в первичной цепи симметричного трехфазного тока, что имеет место в рабочем режиме и при трехфазных коротких замыканиях, через реле протекает ток в 1,73 раза больший вторичного тока трансформатора тока, поэтому коэффициент схемы равен  $k_{сх} = 1,73$ . На основании аналогичных рассуждений для замыкания между фазами  $AC$  получим  $k_{сх} = 2$ , а между фазами  $AB$  или  $BC$  —  $k_{сх} = 1$ .

Правильность соединений трансформаторов тока смонтированной установки может быть проверена первичным током. Для токовых защит линий проверка мо-

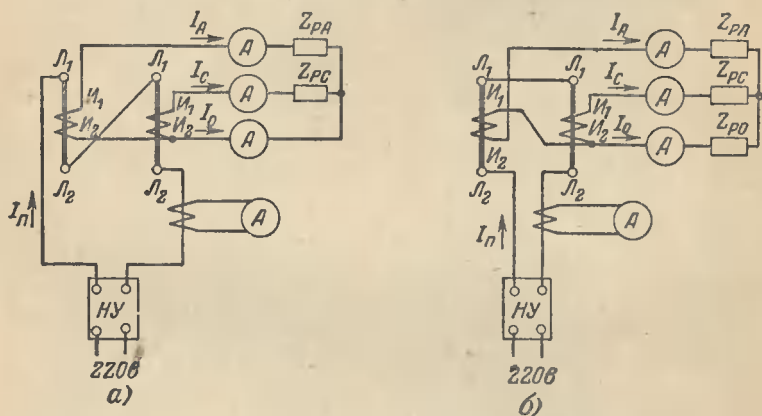


Рис. 3. Проверка защиты первичным током.

жет быть произведена от однофазных нагрузочных устройств. Схемы испытаний показаны на рис. 3. Схема рис. 3,а дана применительно к рис. 2,а, а схема рис. 3,б — к рис. 2,б. Первичный ток регулируется таким образом, чтобы во вторичных цепях был ток не менее 1 а. Производятся измерения токов в фазах и нулевом проводе.

Правильность соединения трансформаторов тока может быть также проверена путем измерения токов, протекающих во вторичных цепях, когда в первичной цепи протекает симметричный трехфазный ток нагрузки.

По величине токов и их соотношениям определяется правильность соединений вторичных цепей трансформа-

Таблица 1

Вторичные токи		Фактическое соединение	Вывод
при проверке током нагрузки	при проверке однофазным током		
$I_A = I_C = \frac{I_{\Pi}}{n_T}$ $I_0 = \frac{I_{\Pi}}{n_T}$	$I_A = I_C = \frac{I_{\Pi}}{n_T}$ $I_0 = 2I_A$		Соединение выполнено правильно
$I_A = I_C = \frac{I_{\Pi}}{n_T}$ $I_0 = 1,73 \frac{I_{\Pi}}{n_T}$	$I_A = I_C = \frac{I_{\Pi}}{n_T}$ $I_0 = 0$		Перепутана полярность вторичной обмотки одного из трансформаторов тока
$I_A = 0$ $I_0 = I_C = \frac{I_{\Pi}}{n_T}$	$I_A = 0$ $I_0 = I_C = \frac{I_{\Pi}}{n_T}$		Обрыв в цепи вторичной обмотки трансформатора тока в фазе А
$I_C = 0$ $I_0 = I_A = \frac{I_{\Pi}}{n_T}$	$I_C = 0$ $I_0 = I_A = \frac{I_{\Pi}}{n_T}$		Обрыв в цепи вторичной обмотки трансформатора тока в фазе С
$I_A = 0$ $I_C = 0$ $I_0 = 0$	$I_A = 0$ $I_C = 0$ $I_0 = 0$		Обрыв нулевого провода

Вторичные токи		Фактическое соединение	Вывод
при проверке током нагрузки	при проверке однофазным током		
$I_A = I_C = \frac{I_{\text{п}}}{n_{\text{т}}}$ $I_0 = 1,73 \frac{I_{\text{п}}}{n_{\text{т}}}$	$I_A = I_C = \frac{I_{\text{п}}}{n_{\text{т}}}$ $I_0 = 2I_A$		Соединение выполнено правильно
$I_A = I_C = \frac{I_{\text{п}}}{n_{\text{т}}}$ $I_0 = \frac{I_{\text{п}}}{n_{\text{т}}}$	$I_A = I_C = \frac{I_{\text{п}}}{n_{\text{т}}}$ $I_0 = 0$		Перепутана полярность вторичной обмотки одного из трансформаторов тока
$I_A = 0$ $I_C = I_0 = \frac{I_{\text{п}}}{n_{\text{т}}}$	$I_A = 0$ $I_C = I_0 = \frac{I_{\text{п}}}{n_{\text{т}}}$		Обрыв в цепи вторичной обмотки трансформатора тока в фазе А
$I_C = 0$ $I_0 = I_A = \frac{I_{\text{п}}}{n_{\text{т}}}$	$I_C = 0$ $I_0 = I_A = \frac{I_{\text{п}}}{n_{\text{т}}}$		Обрыв в цепи вторичной обмотки трансформатора тока в фазе С
$I_A = 0$ $I_C = 0$ $I_0 = 0$	$I_A = 0$ $I_C = 0$ $I_0 = 0$		Обрыв в цепи общего провода

торов тока. Соотношения токов для наиболее вероятных повреждений приведены в табл. 1 и 2. Табл. 1 дана для случая, когда реле тока включены на фазные токи, а таблица 2 — когда в схеме имеются реле тока, включенные на фазные токи и на разность токов двух фаз.

### **Защита от замыкания одной фазы на землю**

Защита от замыканий одной фазы на землю линий 3—10 кВ при использовании переменного оперативного тока выполняется так же, как и при наличии постоянно-го оперативного тока. Для защиты применяются трансформаторы тока нулевой последовательности типа ТЗ, ТЗР, ТЗЛ или других типов. К трансформаторам тока приключаются реле тока.

При замыканиях на землю междуфазные напряжения практически не изменяются. В связи с этим представляется возможным осуществить питание оперативных цепей защиты от трансформаторов напряжения или трансформаторов собственных нужд. Для защиты может быть использован как непосредственно переменный ток, так и постоянный выпрямленный ток. В последнем случае целесообразно использовать элемент напряжения блока питания БП-10, который приключается к указанным выше источникам оперативного тока.

## **2. ЗАЩИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЛЕ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ, ВСТРАИВАЕМЫХ В ПРИВОДЫ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ**

### **Встроенное реле тока прямого действия типа РТМ**

Как уже говорилось, некоторые типы приводов имеют встроенные реле тока типа РТМ или типа РТВ. С помощью этих реле может быть осуществлена релейная защита линий.

Встроенное реле тока мгновенного действия типа РТМ имеет следующее устройство (рис. 4). В чугунном корпусе 1 помещается катушка 2. Внутри катушки имеется стальной сердечник 3. Латунная гильза 4 служит для направления движения сердечника. Движение сердечника вверх ограничивается стопом 5. Нижняя часть реле имеет крышку 6. Латунная шайба 7 служит для устранения прилипания сердечника к стопу после исчезновения тока в обмотке реле. Прилипание сердеч-

ника может иметь место в результате действия остаточного магнетизма. При отсутствии тока в обмотке реле сердечник находится в крайнем нижнем положении. При протекании тока через обмотку реле вокруг нее образуется электромагнитное поле. Если ток больше определенной величины, то происходит втягивание сердечника внутрь катушки. В конце хода сердечника его ударник

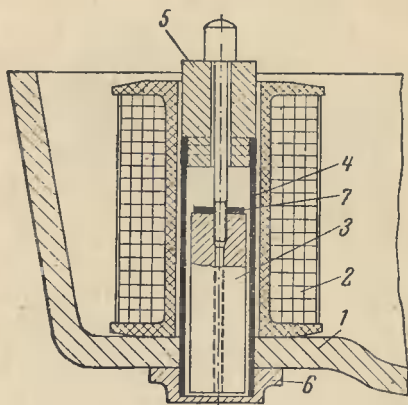


Рис. 4. Встроенное реле тока типа РТМ.

бьет по отключающему рычагу привода, что приводит к отключению выключателя.

Действие реле, производимое им в соответствии с его основным назначением, называется срабатыванием, а наименьший ток, при котором оно происходит, называется током срабатывания реле. Ток срабатывания реле, на который оно отрегулировано, называется уставкой реле по току.

Изменение уставки реле производится включением того или иного числа витков его обмотки с помощью переключателя поворотного или штепсельного типа. Чем меньше включено витков обмотки, тем больше уставка реле.

Изменение уставки переключателем поворотного типа осуществляется вращением ручки, которая укреплена на оси и имеет контактную пластину с пружинами. Неподвижные контакты переключателя укреплены на пластмассовом цоколе и соединены с отводами обмотки реле. Пружины обеспечивают необходимое давление на кон-

такты и фиксацию ручки в определенном положении. Выбитые на ручке цифры соответствуют уставкам, которые равны 5, 7, 8, 10, 12,5 и 15 а. Изменение уставки реле может производиться без предварительного отключения защищаемой линии, так как переключение происходит без разрыва вторичной цепи трансформатора тока.

На рис. 5,а приведена схема присоединения обмотки реле к зажимам переключателя штепсельного типа. В пе-

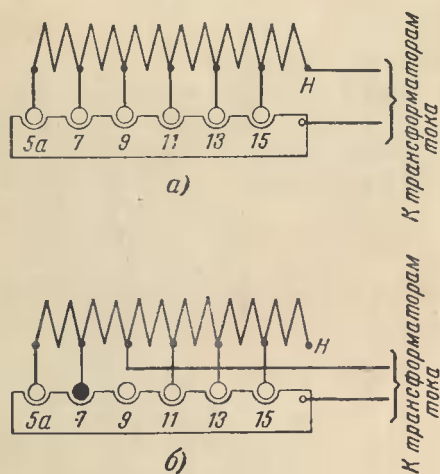


Рис. 5. Переключатель штепсельного типа.

реключателе этого типа изменение уставки реле производится с помощью установочного винта, который ввертывается в соответствующее гнездо. Штепсельный переключатель позволяет установить следующие токи срабатывания реле: 5, 7, 9, 11, 13 и 15 а. В ряде случаев возникает необходимость регулировки реле на больший ток срабатывания, чем максимальная уставка реле РТМ, равная 15 а. Увеличить ток срабатывания реле можно путем отключения части витков катушки. Для этой цели провод, идущий от трансформатора тока, приключается не к началу обмотки, обозначенному на рис. 5,а через *H*, а к одному из выводов, которые приключены к гнездам.

Ток срабатывания реле при частично отключенных витках обмотки определяется по выражению

$$I_{с.р} = \frac{I_{с.р(н)} I_{с.р(ш)}}{I_{с.р(н)} - I_{с.р(ш)}}, \quad (8)$$

где  $I_{с.р(н)}$  — ток срабатывания, соответствующий ответвлению катушки, к которому приключен провод от трансформатора тока, обычно приключаемый к началу обмотки;

$I_{с.р(ш)}$  — ток срабатывания, соответствующий ответвлению катушки, в которое вставлен установочный винт.

Например, провод от трансформатора тока приключен к ответвлению, соответствующему току срабатывания  $I_{с.р(н)} = 9 \text{ а}$ , а установочный винт вставлен в гнездо, соответствующее току срабатывания  $I_{с.р(ш)} = 7 \text{ а}$  (рис. 5,б).

Т а б л и ц а 3

Ток срабатывания $I_{с.р(н)}$ , а	Ток срабатывания $I_{с.р(ш)}$ , а	Ток срабатывания $I_{с.р}$ , а
15	13	98
	11	41
	9	22
	7	13
	5	7,5
13	11	71
	9	29
	7	15
	5	8,2
11	9	50
	7	19
	5	9,2
9	7	32
	5	11
7	5	18

Ток срабатывания реле будет равен:

$$I_{с.р} = \frac{9 \cdot 7}{9 - 7} = 31,5 \text{ а}.$$

Отметим, что выражением (8) не следует пользоваться, если обмотка реле включена по нормальной схеме.

Для реле РТМ, используя выражение (8), были вычислены токи срабатывания при частичном отключении витков обмотки. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Реле РТМ при срабатывании потребляет мощность 50 ватт. Отклонение тока срабатывания от уставки не превышает  $\pm 10\%$ .

В реле тока типа РТМ, встроенных в приводы ти-

Примечание. Обозначения—см. выражение (8).

па ППМ, предусмотрено регулирование тока срабатывания не путем включения того или иного числа витков, а изменением величины воздушного зазора между сердечником реле и стопом. Отсутствие переключателя числа витков обмотки повышает надежность реле. Однако диапазон изменения уставок от  $5 a$  до  $15 a$  в ряде случаев может оказаться недостаточным. Изменение уставок в более широких пределах можно осуществить изменением числа витков обмотки реле.

### Встроенное реле тока с выдержкой времени прямого действия типа РТВ

215005  
с 1005126

Как и реле типа РТМ, реле типа РТВ (см. рис. 6) имеет катушку 1 с сердечником 2, которая помещается в чугунном корпусе. Сердечник реле полый и внутри него помещаются пружина 3 и ударник 4. Пружина верхним концом упирается в стопорное кольцо 5, укрепленное на ударнике, а нижним — в сердечник. В нижней части корпуса реле расположен часовой механизм выдержки времени 6, который связан с ударником тягой 7. Когда величина тока, протекающего через обмотку реле, становится равной или большей тока срабатывания, сердечник втягивается в катушку и сжимает пружину, которая давит на стопорное кольцо ударника. Однако быстрому движению ударника вверх препятствует часовой механизм, с которым, как уже говорилось, он связан тягой. При токах, меньших, чем трехкратный по отношению к току срабатывания реле, пружина сжимается не полностью. Чем больше сжата пружина, тем быстрее работает часовой механизм и тем быстрее ударник проходит расстояние от нижнего крайнего положения до момента удара по отключающему рычагу привода. Следовательно, выдержка времени реле будет тем меньше, чем больше величина тока, протекающего по его обмотке. При токах в обмотке реле, больших, чем трехкратный по отношению к току срабатывания, пружина полностью сжимается. Выдержка времени реле при данной уставке по времени будет минимальной и не зависит от величины тока в реле.

В конце хода ударника происходит расцепление его с часовым механизмом. Ударник получает возможность свободно двигаться вверх под действием пружины. Скорость его движения резко увеличивается, и в конце свое-

го хода он с силой бьет по отключающему рычагу 8 привода выключателя. Происходит отключение выключателя.

Уставка реле по току регулируется с помощью переключателя поворотного типа, который устроен так же,

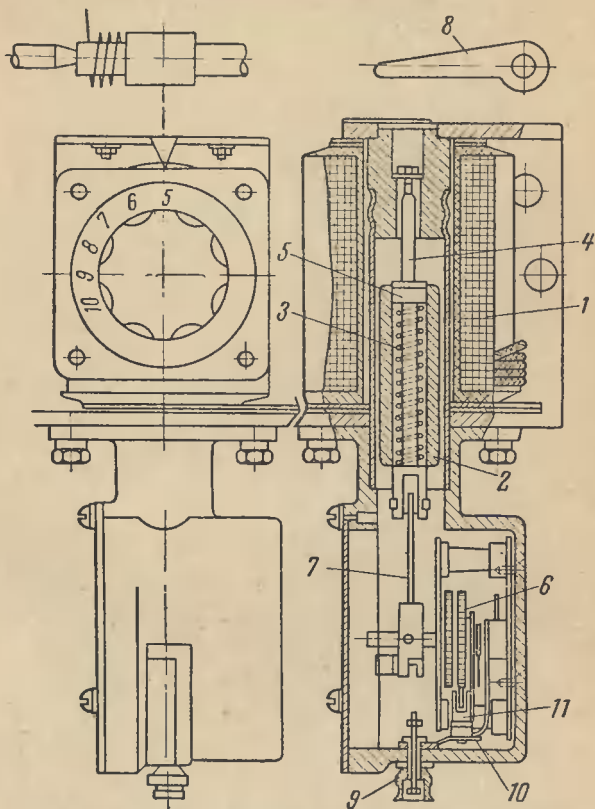


Рис. 6. Встроенное реле тока типа РТВ.

как и в реле типа РТМ. Переключатель позволяет установить следующие токи срабатывания: 5, 6, 7, 8, 9 и 10 а. Отклонение тока срабатывания от уставки не превышает  $\pm 10\%$ . Мощность, потребляемая реле при срабатывании, равна 50 в<sub>а</sub>.

Регулировка выдержки времени реле осуществляется установочным винтом 9, который расположен в нижней

части часового механизма. Винт посредством пластины 10 связан с рычагом 11. Перемещение этого рычага приводит к изменению выдержки времени реле.

На рис. 7 приведена временная характеристика реле. По горизонтальной оси отложена кратность тока в реле по отношению к току срабатывания, а по вертикальной оси — выдержка времени в секундах. Под кратностью

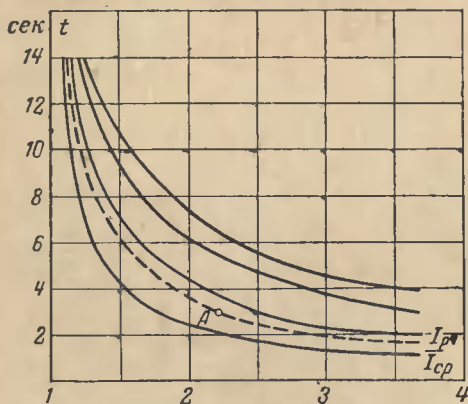


Рис. 7. Временная характеристика реле РТВ.

тока в данном случае понимается отношение тока, протекающего через реле, к току срабатывания. В независимой части характеристики выдержка времени реле регулируется в пределах от 0 до 4 сек. Следует отметить, что при уставке 0 сек время действия реле не превышает 0,1 сек. По времени реле действует с точностью  $\pm 0,3$  сек.

Выше было описано устройство реле РТВ, которое встраивается в приводы типа ПРА, ПРБА, УГП, ППМ-10 и др. Реле РТВ, встраиваемое в привод КАМ, имеет устройство, отличное от вышеописанного. Его конструкция приведена в [Л. 3].

### Катушки отключения приводов

Для дистанционного отключения выключателя или отключения его от релейной защиты, выполненной с реле косвенного действия, используются встроенные в привод катушки отключения. Конструктивно они выполнены так же, как и реле тока РТМ, но только их обмотки

не имеют ответвлений для регулирования тока срабатывания. В каталогах на приводы встроенные катушки отключения называются электромагнитами отключения и обозначаются ЭН или ЭТ. Катушки отключения ЭН предназначены для работы от цепей напряжения (трансформатор напряжения или трансформатор собственных нужд), а катушки отключения ЭТ — от цепей тока (трансформаторы тока). Катушки отключения ЭН выполняются на номинальные напряжения—127, 220, 380 в и надежно работают при изменении номинального напряжения в пределах от 65 до 120%. При срабатывании катушки ЭН потребляют мощность порядка 360—480 *ва*. Катушки отключения ЭТ срабатывают при токе 3,5 *а* и потребляют мощность порядка 50 *ва*. Однако следует отметить, что некоторые приводы, например, УГП, имеют катушки отключения, предназначенные для питания от цепей напряжения с меньшим потреблением.

### Схемы защиты с реле РТМ и РТВ

Используя встроенные реле тока РТМ и РТВ, можно выполнить простую и надежную защиту от повреждений между фазами радиальных линий 3—10 *кв*.

На рис. 8,а приведена схема защиты реактированной линии, выключатель которой не рассчитан на отключение коротких замыканий до реактора. В связи с этим в схеме предусмотрена только максимальная токовая защита с выдержкой времени, зависимой от тока, выполняемая с использованием двух реле РТВ. Трансформаторы тока предусмотрены в двух фазах, что является достаточным для отключения коротких замыканий между фазами. Реле тока включены на фазные токи. Для измерительных приборов выделен отдельный сердечник трансформаторов тока. В дальнейшем в схемах сердечник для измерительных приборов не показывается.

Если выключатель реактированной линии рассчитан на отключение коротких замыканий до реактора, а также если линия нереактированная, то предусматривается токовая отсечка. Пример схемы с отсечкой дан на рис. 8,б. Реле тока РТМ отсечки включено на разность токов двух фаз. Использование одного реле, включенного на разность токов двух фаз, а не двух реле, включенных на фазные токи, снижает чувствительность отсечки при

некоторых видах коротких замыканий в 1,73 раза. Такое решение вынужденное, так как приводы имеют ограниченное число встроенных реле тока. Причина снижения чувствительности защиты при включении реле на разность токов двух фаз объясняется при изложении способа расчета защиты. Максимальная токовая защита в рассматриваемой схеме выполнена с использованием двух реле РТВ, включенных на фазные токи.

Следует отметить, что если конструкция привода по-

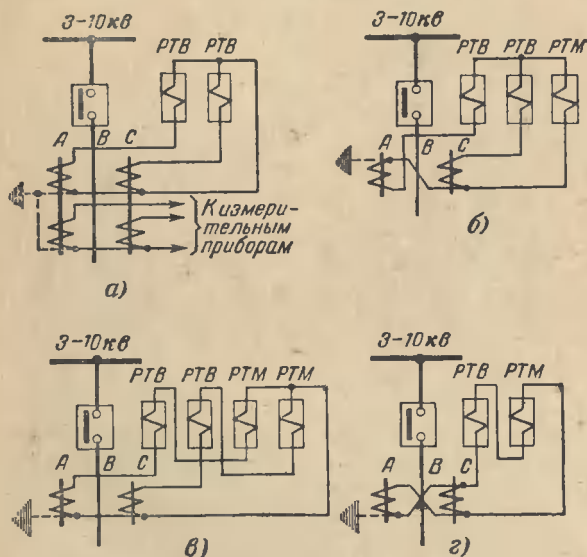


Рис. 8. Схемы защиты со встроенными реле тока РТМ и РТВ.

зволяет встроить по два реле РТВ и РТМ, то токовая отсечка выполняется с включением реле на фазные токи (рис. 8,в).

В ряде случаев может оказаться, что привод имеет по одному встроенному реле РТВ и РТМ. При этом используется схема с включением реле РТВ и РТМ на разность токов двух фаз. Такая схема приведена на рис. 8,г. В этом случае максимальная токовая защита, так же как и токовая отсечка, имеет в 1,73 раза меньшую чувствительность, чем при включении реле на фазные токи.

## Область применения защит со встроенными реле РТВ и РТМ

Релейная защита с использованием встроенных реле тока РТВ и РТМ находит широкое применение для защиты линий и трансформаторов в сетях напряжением 3—10 кв.

Достоинствами защиты со встроенными реле тока являются их простота, надежность и отсутствие необходимости в дополнительном источнике оперативного тока.

Однако встроенные реле тока не обладают высокой точностью, что ограничивает их применение. Невысокая точность встроенных реле прямого действия объясняется тем, что они должны развивать значительные усилия, так как действуют непосредственно на отключающий рычаг привода. С помощью встроенных реле тока можно выполнить только наиболее простые защиты, что в ряде случаев недостаточно. Например, с использованием встроенных реле не может быть выполнена направленная токовая защита. Следует отметить, что в ряде случаев могут возникнуть затруднения при согласовании защит в связи с тем, что реле РТВ имеет зависимость от тока характеристику выдержки времени.

### 3. ЗАЩИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПА ДЕШУНТИРОВАНИЯ КАТУШЕК ОТКЛЮЧЕНИЯ

#### Дешунтирование катушек отключения

В ряде случаев релейная защита линий, выполненная с использованием встроенных в привод выключателей реле тока, действующих непосредственно на отключающий рычаг привода, не удовлетворяет требованиям чувствительности.

В этих случаях может быть использована релейная защита с реле тока косвенного действия. Эти реле не предназначены для действия на отключающий рычаг привода, и поэтому они выполняются с легкой подвижной системой, что обеспечивает их высокую точность. При срабатывании реле косвенного действия своими контактами производят соответствующие переключения в цепи катушки отключения или в цепи вспомогательных реле, которые служат для управления действием катушек отключения.

Чебоксарским электроаппаратным заводом освоен выпуск реле с мощными переходными контактами, производящими переключение в цепи тока без ее разрыва. Это позволяет выполнить защиту на переменном оперативном токе с использованием так называемого принципа дешунтирования катушки отключения.

Рассмотрим работу контактов реле, производящих дешунтирование катушки отключения (рис. 9). Положение контактов на рис. 9, а показано для случая отсут-

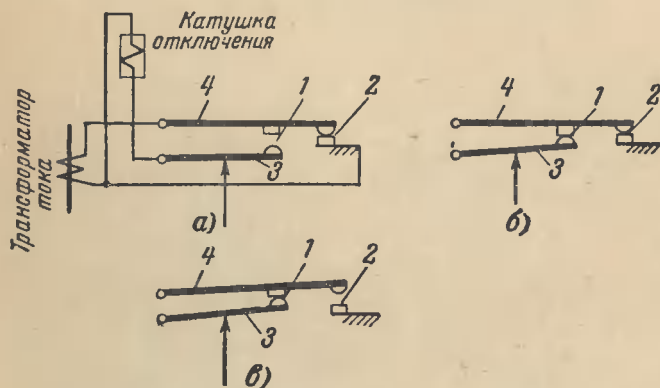


Рис. 9. Работа переходных контактов.

ствия тока в обмотках реле. При этом контакт 1 разомкнут, а контакт 2 замкнут. Ток от трансформатора тока через катушку отключения не протекает. При срабатывании реле происходит переключение его контактов. Сначала замкнуты обе пары контактов (рис. 9,б), затем контакт 2 размыкается (рис. 9,в). При этом катушка отключения оказывается включенной в цепь трансформатора тока. Если ток, протекающий через катушку отключения, будет больше тока ее срабатывания, то она подействует и вызовет отключение выключателя.

Контакты 1 и 2, осуществляющие дешунтирование катушки отключения, рассматриваются как один контакт, который называется переходным контактом. Особенностью переходного контакта является то, что в процессе переключений цепь замкнута на то или иное сопротивление. В рассматриваемом случае вторичная цепь трансформатора тока замкнута или через контакт 2, или

через обмотку катушки отключения. Это необходимо в связи с возможностью появления на разомкнутой вторичной обмотке трансформатора тока высокого напряжения, опасного для обслуживающего персонала и могущего вызвать повреждение трансформатора тока.

### Реле тока ИТ-85

Реле тока ИТ-85 является комбинированным реле и состоит из двух элементов: электромагнитного и индукционного. Электромагнитный элемент представляет со-

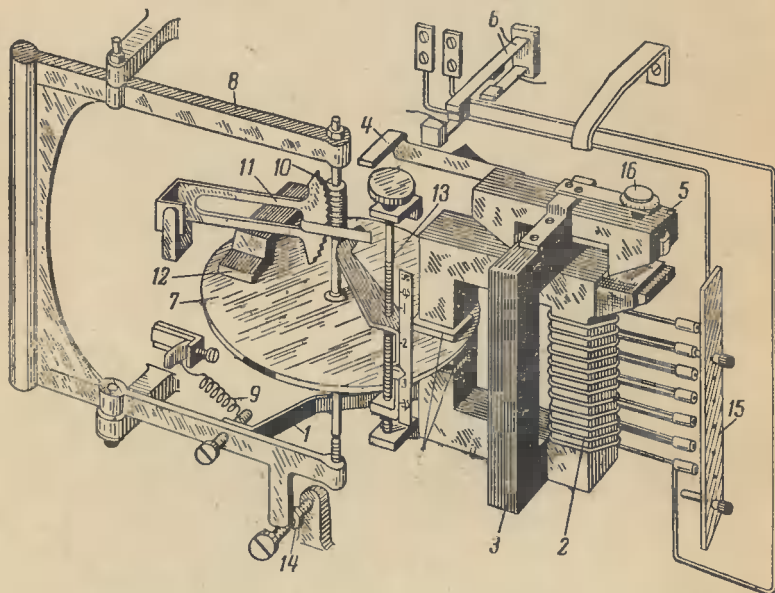


Рис. 10. Реле тока типа ИТ-85.

бой реле тока мгновенного действия и используется для выполнения токовой отсечки, а индукционный элемент — реле тока с зависимой от величины тока выдержкой времени и используется для выполнения максимальной токовой защиты с выдержкой времени.

Конструктивное выполнение реле показано на рис. 10. Реле имеет магнитопровод с общей для электромагнитного и индукционного элементов обмоткой 2. К электро-

магнитному элементу следует отнести замыкающий стержень 3 и якорь 5 с коромыслом 4. При протекании тока через обмотку реле образуется магнитный поток, который частично замыкается через стержень и якорь. В результате этого создается электромагнитный момент, стремящийся повернуть якорь. Под действием этого момента при токе в обмотке реле, равном или большем току срабатывания электромагнитного элемента, якорь поворачивается и с помощью коромысла производит переключение переходных контактов 6.

Для индукционного элемента используется та же магнитная система, что и для электромагнитного элемента. Алюминиевый диск 7 насажен на ось, укрепленную в раме 8. Рама закреплена на полуосях и может поворачиваться на некоторый угол. Нормально она оттянута пружиной 9 назад и червяк 10, закрепленный на оси диска, не сцеплен с зубчатым сектором 11. При токах в обмотке реле порядка 30% тока срабатывания индукционного элемента под действием магнитного потока, создаваемого полюсами с короткозамкнутыми витками, диск реле начинает вращаться. При токе, равном или большем тока срабатывания индукционного элемента, под действием сил, возникающих при взаимодействии диска и магнитного потока в зазоре между полюсами реле, рамка поворачивается и червяк приходит в зацепление с зубчатым сектором. В результате этого сектор начинает подниматься вверх, и через некоторый промежуток времени он поворачивает коромысло. При этом уменьшается зазор между якорем и магнитопроводом электромагнитного элемента реле, он срабатывает и переключает контакты.

Реле имеет постоянный магнит 12, который создает момент, препятствующий вращению диска.

Стальная скоба 1, притягиваясь к электромагниту, препятствует расцеплению зубчатого сектора с червяком. Это необходимо для обеспечения четкой работы реле с заданной выдержкой времени.

Регулирование тока срабатывания индукционного элемента производится изменением числа витков обмотки реле. Для этой цели имеется штепсельный переключатель 15. Одновременно с изменением тока срабатывания индукционного элемента изменяется ток срабатывания электромагнитного элемента, так как они, как уже

говорилось выше, имеют общую обмотку. Дополнительно более точная регулировка тока срабатывания электромагнитного элемента осуществляется изменением воздушного зазора между якорем и электромагнитом с помощью винта 16. Изменение выдержки времени осуществляется с помощью регулировочного винта 13.

Выдержка времени реле при токах, меньших, чем пятикратный по отношению к току срабатывания индукционного элемента, зависит от величины тока, протекающего через обмотку реле. Это объясняется тем, что скорость вращения диска зависит от величины тока в реле. Однако при токах, больших пятикратного, выдержка времени реле практически не зависит от величины тока, так как наступает насыщение магнитной системы. Это приводит к постоянству потока, вызывающего вращение диска.

В настоящее время выпускаются две модификации реле ИТ-85, отличающиеся номинальными токами. Реле ИТ-85/1 имеет номинальный ток 10 *a* и регулировку тока срабатывания индукционного элемента от 4 до 10 *a*, а реле ИТ-85/2 — номинальный ток 5 *a* и регулировку — от 2 до 5 *a*. Для реле обеих модификаций ток срабатывания электромагнитного элемента может быть установлен в пределах от двух- до восьмикратного по отношению к току срабатывания индукционного элемента. Уставка по времени в независимой части характеристики реле регулируется в пределах от 0,5 до 4 *сек*. Потребляемая мощность реле при токе срабатывания на любой уставке не более 10 *ва*. Переходный контакт реле способен дешунтировать цепь с сопротивлением 4,5 *ом* при токах до 150 *a*.

### Схемы защиты с реле ИТ-85

На рис. 11 приведены два варианта схем защиты линии, выполненные с использованием реле тока ИТ-85. Как сказано выше, реле ИТ-85 является комбинированным и позволяет осуществить как максимальную токовую защиту с зависимой от величины тока выдержкой времени, так и токовую отсечку. В схеме защиты рис. 11,а используются два реле ИТ-85, включенные на фазные гоки, а в схеме рис. 11,б — одно реле ИТ-85, включенное на разность токов двух фаз. При срабатывании реле тока происходит дешунтирование катушки отключения пере-

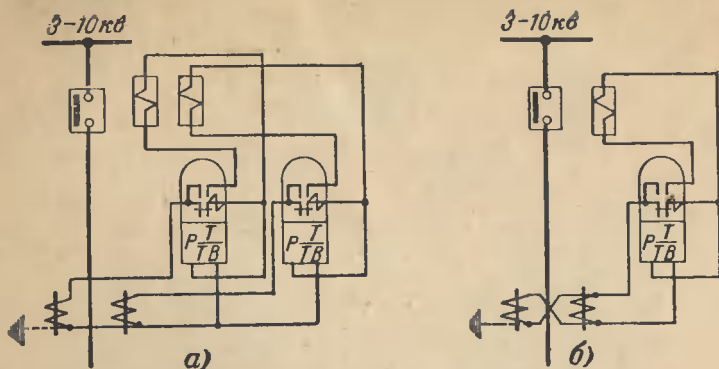


Рис. 11. Схемы защиты с реле ИТ-85.

ходными контактами. После дешунтирования катушка отключения срабатывает, и это приводит к отключению выключателя.

### Реле тока типа ЭТ-520 и реле времени типа ЭВ-215 — ЭВ-245

На переменном оперативном токе может быть выполнена максимальная токовая защита с независимой от тока выдержкой времени. Для этой цели используются реле тока типа ЭТ-520, как и для защиты на постоянном оперативном токе, и реле времени типа ЭВ-215—ЭВ-245.

Описание конструкции реле тока см. в [Л. 1—3].

Реле тока типа ЭТ-520 по числу и типу контактов выпускается трех модификаций. Реле ЭТ-521 имеют один замыкающий контакт, реле ЭТ-522—один размыкающий контакт и реле ЭТ-523 — один замыкающий и один размыкающий контакт. Реле имеет малое потребление при срабатывании, что объясняется легкой подвижной системой реле, на перемещение которой требуется незначительная мощность. Следует отметить, что реле имеет контакты, которые не могут быть использованы в цепях катушек отключения, так как при больших токах они сгорают. Ниже в табл. 4 приведены данные по реле тока типа ЭТ-520.

Для создания выдержки времени в защитах на переменном оперативном токе промышленностью выпускаются специальные реле времени с отпадающим якорем ти-

Таблица 4

Тип реле тока	Пределы регулирования тока срабатывания, <i>a</i>		Мощность срабатывания при минимальной уставке, <i>ва</i>
	при последовательном соединении обмоток	при параллельном соединении обмоток	
ЭТ-521/6 ЭТ-522/6 ЭТ-523/6	1,5—3	3—6	0,1
ЭТ-521/10 ЭТ-522/10 ЭТ-523/10	2,5—5	5—10	0,15
ЭТ-521/20 ЭТ-522/20 ЭТ-523/20	5—10	10—20	0,25
ЭТ-521/50 ЭТ-522/50 ЭТ-523/50	12,5—25	25—50	1
ЭТ-521/100 ЭТ-522/100 ЭТ-523/100	25—50	50—100	2,5
ЭТ-521/200 ЭТ-522/200 ЭТ-523/200	50—100	100—200	10

па ЭВ-215, ЭВ-225, ЭВ-235 и ЭВ-245. Указанные модификации реле отличаются пределами уставок выдержки времени.

Реле времени с отпадающим якорем имеет следующее устройство (рис. 12). Электромагнитная система реле состоит из электромагнита 1, обмотки 2 и якоря 3. Якорь электромагнита при отсутствии тока в обмотке находится в крайнем нижнем положении. При подаче напряжения на обмотку реле якорь поднимается вверх и своим штифтом давит на систему рычагов 5, с помощью которых производится завод часового механизма 6 и удерживание его в заведенном состоянии. При

снятии напряжения якорь электромагнита падает вниз. Система рычагов, заводящих часовой механизм, возвращается в исходное положение, освобождая его. Часовой механизм начинает работать. С возвратом якоря также происходит переключение мгновенных контактов реле 7. Под действием часового механизма начинает вращаться рычаг 8, на котором закреплены подвижные контакты 9. По истечении установленной выдержки времени сначала замыкаются временно замыкающие контакты 10, а за-

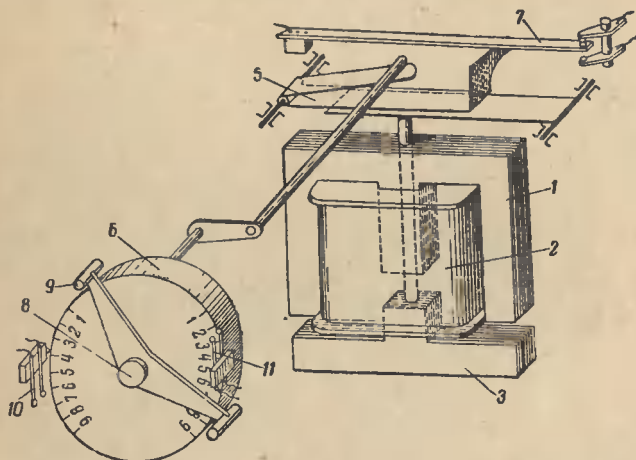


Рис. 12. Реле времени типа ЭВ-215—ЭВ-245.

тем — конечные замыкающие контакты 11. Уставка реле по времени регулируется перемещением неподвижных контактов. Реле имеет шкалу уставок, отградуированную в секундах.

При подаче напряжения на обмотку реле якорь электромагнита поднимается вверх, заводит вновь часовой механизм и возвращает в исходное положение рычаг 8 и мгновенные контакты 7.

Основные технические данные реле времени приведены в табл. 5.

Реле выпускаются на номинальные напряжения 100, 127 и 220 в. Реле четко работает при напряжении не менее 70% номинального. Мощность, потребляемая реле при номинальном напряжении и втянутом якоре электромагнита, — около 15 ватт.

Таблица 5

Тип реле	Пределы уставок, сек	Разброс во времени срабатывания основных контактов, сек	Время замкнутого состояния временно замыкающего контакта, сек
ЭВ-215	0,1—1	0,06	0,06—0,1
ЭВ-225	0,25—3,5	0,12	0,17—0,25
ЭВ-235	0,5—9	0,25	0,45—0,65
ЭВ-245	2—20	0,5	1,0—1,5

Конструкция контактов реле позволяет регулировать уставки выдержки времени временно замыкающих и конечных контактов с разностью времени между ними от нуля до значения полной шкалы реле. Разрывная мощность контактов в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой 100 *вт* при токе не более 1 *а* и напряжении не выше 220 *в*. Контакты рассчитаны на длительное протекание тока 5 *а*.

### Промежуточное реле типа РП-341

Промежуточное реле РП-341 имеет переходные контакты и поэтому используется для дешунтирования катушек отключения в схемах защиты на переменном оперативном токе. Схема внутренних соединений реле приведена на рис. 13, а конструктивный чертеж—на рис. 14.

Реле имеет промежуточный насыщающийся трансформатор 1 с двумя первичными и одной вторичной обмотками. Через германиевые выпрямители 2 ко вторичной обмотке промежуточного трансформатора приключено реле постоянного тока клапанного типа. Это реле имеет (см. рис. 14) магнитопровод 3, обмотку 4, якорь 5, переходный 6 и перекидной 7 контакты. Конденсатор 8 служит для сглаживания выпрямленного напряжения.

Переходный контакт рассчитан на дешунтирование катушек отключения.

Первичные обмотки промежуточного трансформатора включаются во вторичную цепь трансформаторов тока. Для защиты германиевых выпрямителей от больших то-

ков и возможности управления промежуточным реле с помощью маломощных контактов (например, контактов реле ЭТ-520) промежуточный трансформатор выполнен насыщающимся. Напомним, что ток во вторичной обмотке насыщающегося трансформатора даже при очень больших токах в его первичной обмотке не превышает некоторой заданной величины.

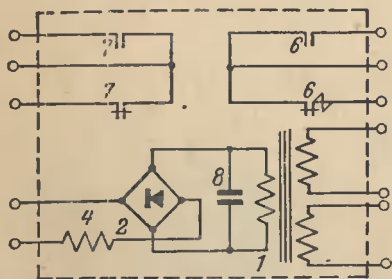


Рис. 13. Схема внутренних соединений промежуточного реле РП-341.

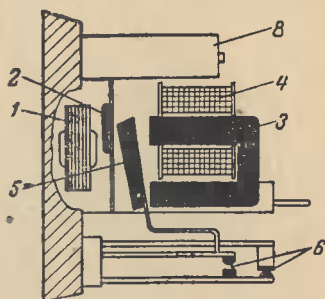


Рис. 14. Конструкция промежуточного реле РП-341.

В данном случае величина этого тока определяется допустимым током для выпрямителей и контактов управляющих реле.

При последовательном соединении первичных обмоток промежуточного трансформатора реле срабатывает при токе  $2,5 \text{ а}$ , а при параллельном соединении обмоток или при обтекании током только одной обмотки — при токе  $5 \text{ а}$ .

Для действия реле РП-341 необходимо, чтобы по первичным обмоткам промежуточного трансформатора протекал ток, превосходящий по величине его ток срабатывания, а цепь реле постоянного тока, которую назовем цепью управления, была замкнута. Последнее производится контактами реле тока или реле времени. В приводимых ниже схемах выводы снизу реле показаны в следующем порядке, считая слева направо. Первые два вывода — от первичных обмоток промежуточного трансформатора, следующие два вывода — цепь управления реле. Последовательно с реле постоянного тока можно включить одно сигнальное реле типа ЭС-21/0,05 или два параллельно соединенных сигнальных реле типа ЭС-21/0,025,

Реле типа РП-341 потребляет 6 *ва* при токе, равном удвоенному току срабатывания. Мощность переходных контактов реле РП-341, предназначенных для дешунтирования катушки отключения, та же, что и у реле ИТ-85. Мощность перекидных контактов на размыкание переменного тока не менее 450 *ва* при токе до 2 *а*, напряжении до 220 *в* и на замыкание — не более 1 000 *ва* при токе до 15 *а*, напряжении до 220 *в*.

### Схемы защиты с использованием реле ЭТ-523, ЭВ-215—ЭВ-245 и РП-341

Схема защиты, приведенная на рис. 15, содержит токовую отсечку и максимальную токовую защиту с выдержкой времени. Отсечка выполнена с использованием одного реле тока ЭТ-521, включенного на разность токов двух фаз, а максимальная токовая защита — двух реле тока ЭТ-523, включенных на фазные токи и реле времени

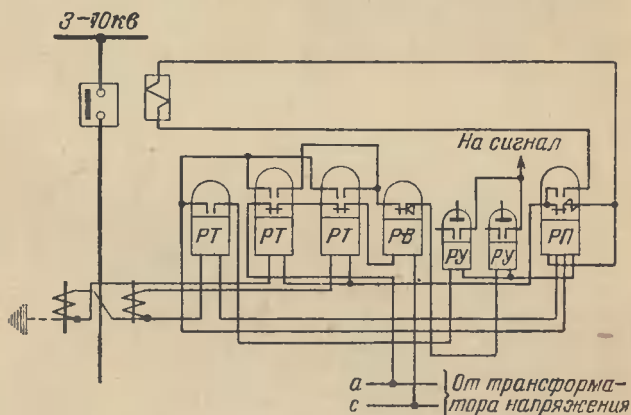


Рис. 15. Схема защиты с реле ЭТ-523, ЭВ-235 и РП-341,

ЭВ-235. В схеме предусмотрено общее выходное промежуточное реле РП-341 для отсечки и максимальной токовой защиты. Промежуточное реле и катушка отключения включены на разность токов двух фаз для экономии релейного оборудования, так как включение на фазные токи потребовало бы применения двух промежуточных реле и двух катушек отключения. Реле времени пи-

тается от источника напряжения, в качестве которого может быть использован трансформатор напряжения или трансформатор собственных нужд.

Схема защиты работает следующим образом. При срабатывании реле тока максимальной токовой защиты размыкающие контакты этих реле разрывают цепь реле времени. Отметим, что до этого реле времени находилось под напряжением, его якорь был подтянут, а часовой механизм находился в заведенном состоянии. После снятия напряжения с реле времени, его часовой механизм начинает работать, и по истечении установленной выдержки времени замыкает контакт. Этот контакт включен в цепь управления промежуточного реле РП-341 и, следовательно, при его замыкании происходит срабатывание указанного реле, т. е. дешунтирование катушки отключения. Последняя срабатывает, вследствие чего происходит отключение выключателя.

Реле тока отсечки при срабатывании своими контактами непосредственно замыкает цепь управления промежуточного реле, что приводит к его срабатыванию.

В рассматриваемой схеме, а также в схемах, приведенных ниже, предусматриваются указательные реле типа ЭС-21. При срабатывании указательного реле выпадает встроенный в него флажок. Выпадение флажка фиксирует работу защиты. Возврат флажка осуществляется от руки. Для сигнализации действия защиты указательные реле имеют контакты.

Как уже говорилось, реле времени питается или от трансформатора напряжения, приключенного к шинам подстанции, или от трансформатора собственных нужд. Возможны случаи нарушения питания реле времени, например при перегорании предохранителей в цепях трансформатора напряжения. В этих случаях реле времени сработает и замкнет свой контакт, что может привести к ложному отключению выключателя. Для предотвращения этого последовательно с контактами реле времени включены контакты реле тока максимальной токовой защиты. При таком выполнении схемы отключение выключателя может произойти только при условии срабатывания реле тока. Следует отметить, что на подстанции должен быть предусмотрен действующий на сигнал автоматический контроль исправности цепей напряжения, от которых питается реле времени. При получении сигнала

обслуживающий персонал должен принять необходимые меры для восстановления нормального напряжения.

Схемы защиты, содержащие реле времени с отпадающим якорем, требуют для их осуществления общих цепей напряжения для всей или части подстанции. Наличие разветвленных цепей напряжения снижает надежность защиты, так как увеличивается вероятность повреждений в оперативных цепях. Необходимость подвода к защите каждой линии цепей напряжения усложняет монтаж и обслуживание подстанции. Указанные недостатки могут быть исключены, если в схемах использовать реле времени, питание которого осуществляется от тех же трансформаторов тока, что и других реле защиты.

### Схемы защиты с токовым реле времени

В настоящее время на Чебоксарском электроаппаратном заводе подготовлено к выпуску токовое реле времени для защиты на переменном оперативном токе. Основным элементом реле времени является синхронный моторчик, который запускается с помощью контактов реле тока. Ротор синхронного моторчика вращается с определенной скоростью, что и обеспечивает точность установленной выдержки времени. Моторчик через систему зубчатой передачи вращает рычаг с подвижными контактами. Через установленный промежуток времени контактный рычаг повернется на определенный угол и замкнет неподвижные контакты.

На рис. 16,а приведена схема максимальной токовой защиты линии с токовым реле времени. Для защиты используются два реле тока, включенные на фазные токи. Токовое реле времени, промежуточное реле типа РП-341 и катушка отключения включаются на разность токов двух фаз. Как и в схемах, рассмотренных выше, такое включение реле и катушки предусматривается в целях экономии оборудования. Нормально реле времени обтекается током, однако оно не работает, так как цепь управления разомкнута на контактах реле тока. При срабатывании реле тока замыкается цепь управления реле времени, которое начинает работать и по истечении установленной выдержки времени замыкает цепь управления выходного промежуточного реле. Последнее, срабатывая, производит дешунтирование катушки отключения, что приводит к отключению выключателя.

На рис. 16,б приведена схема максимальной токовой направленной защиты. Схема обычно применяется на линиях с двусторонним питанием.

В схеме используются два реле тока, включенные на фазные токи, и два реле направления мощности типа

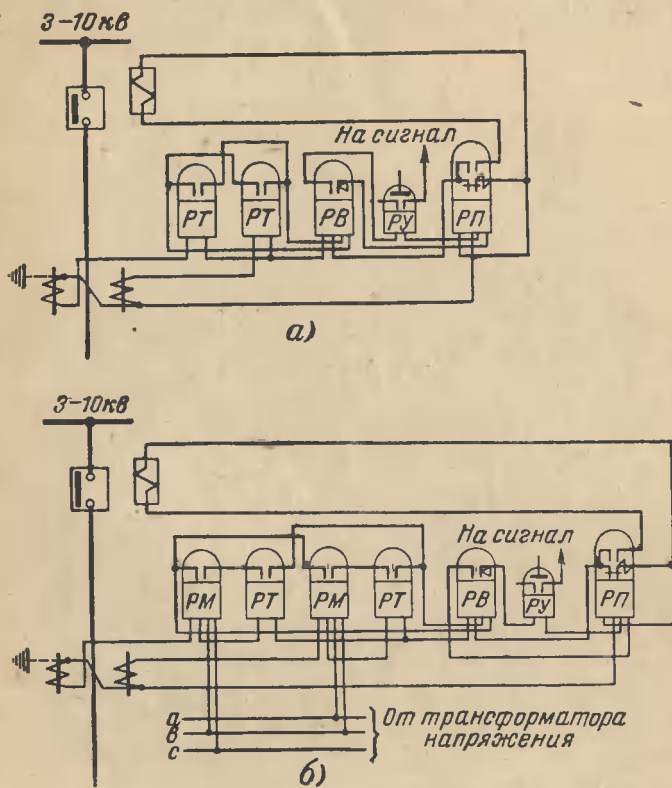


Рис. 16. Схемы защиты с токовым реле времени.

ИМБ-171. Токowe обмотки реле мощности включены на фазные токи, а обмотки напряжения — на междуфазные напряжения. Принятая схема сочетаний подводимых к реле мощности токов и напряжений носит название 90-градусной схемы включения. Реле времени, катушка отключения и промежуточное реле включены на разность токов двух фаз. Схема защиты работает следующим об-

разом. Срабатывают токовые реле и реле мощности, что приводит к замыканию цепи управления реле времени. Далее схема работает аналогично описанной выше схеме рис. 16,а.

#### 4. ЗАЩИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКА ПИТАНИЯ БП-10

##### Блок питания БП-10

Перевод релейной защиты линий 3—10 кВ с постоянного на переменный оперативный ток может быть осуществлен без значительных затрат и изменения схемы применением блоков питания типа БП-10, разработанных во Всесоюзном научно-исследовательском институте электроэнергетики (ВНИИЭ).

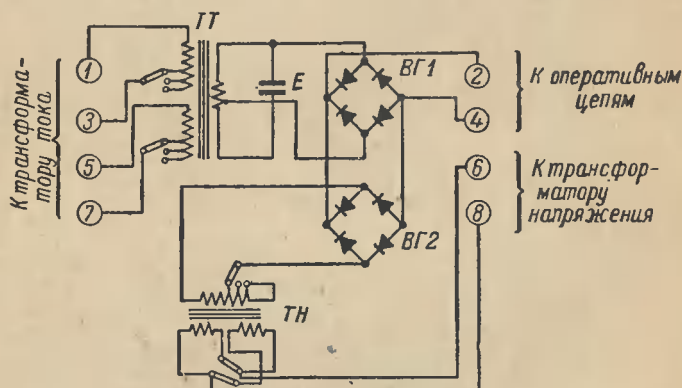


Рис. 17. Схемы внутренних соединений блока питания БП-10.

Блоки питания позволяют осуществить питание защиты и цепей отключения выпрямленным током от трансформаторов тока и, если необходимо, дополнительно от трансформаторов напряжения.

Блок питания может обеспечить питание реле времени, промежуточного реле и катушки отключения, предназначенных для работы на постоянном оперативном токе. Блок питания может быть также использован для питания реле времени, работающего на постоянном токе, в схемах с дешунтированием катушки отключения.

Схема внутренних соединений блока БП-10 приведена на рис. 17. Он состоит из токового элемента и элемента напряжения.

В состав токового элемента входят насыщающийся промежуточный трансформатор *ТТ*, конденсатор *Е*, выпрямительный мост *ВГ1* и переключающее устройство. Промежуточный трансформатор имеет две первичные и одну вторичную обмотки. Первичные обмотки имеют отпайки, позволяющие изменять номинальный первичный ток. С помощью переключателя этот ток может быть установлен равным 5, 7,5 и 10 *а*. Наличие двух первичных обмоток позволяет осуществить включение на фазные токи разных фаз или, соединив обмотки последовательно, включить на разность токов двух фаз. Первичные обмотки рассчитаны на длительное протекание тока 8,7 *а*.

Промежуточный трансформатор и конденсатор выполняют роль феррорезонансного стабилизатора напряжения, который поддерживает примерно постоянным напряжение на выходе блока питания при изменении тока в его первичных обмотках в широких пределах.

В тех случаях, когда требуется иметь напряжение на защите в режимах малых токов линии, может быть дополнительно использован элемент напряжения, который приключается к трансформатору напряжения. Элемент напряжения состоит из промежуточного трансформатора *ТН*, выпрямительного моста *ВГ2* и переключающего устройства.

К блоку питания могут подключаться реле, предназначенные для работы на постоянном оперативном токе напряжением 110 *в*. От блока может питаться катушка отключения привода, предназначенная для работы от цепей напряжения переменного тока и имеющая малое потребление [Л. 4].

### Схемы защиты с использованием блока питания БП-10

На рис. 18,а приведена схема защиты линии, выполненная с использованием блока питания БП-10 и содержащая токовую отсечку и максимальную токовую защиту с выдержкой времени. Токовая отсечка выполнена с использованием двух реле тока ЭТ-521, включенных на фазные токи, и одного промежуточного реле постоянного тока типа РП-23. Максимальная токовая защита также выполнена с двумя реле тока ЭТ-521, включенными на фазные токи, и реле времени постоянного тока типа ЭВ-134. Блок питания БП-10 включается на разность

токов двух фаз. От блока БП-10 осуществляется питание промежуточного реле, реле времени и катушки отключения.

Как уже говорилось выше, блок питания может быть использован в схемах с дешунтированием катушки отключения для питания только реле времени. В этом слу-

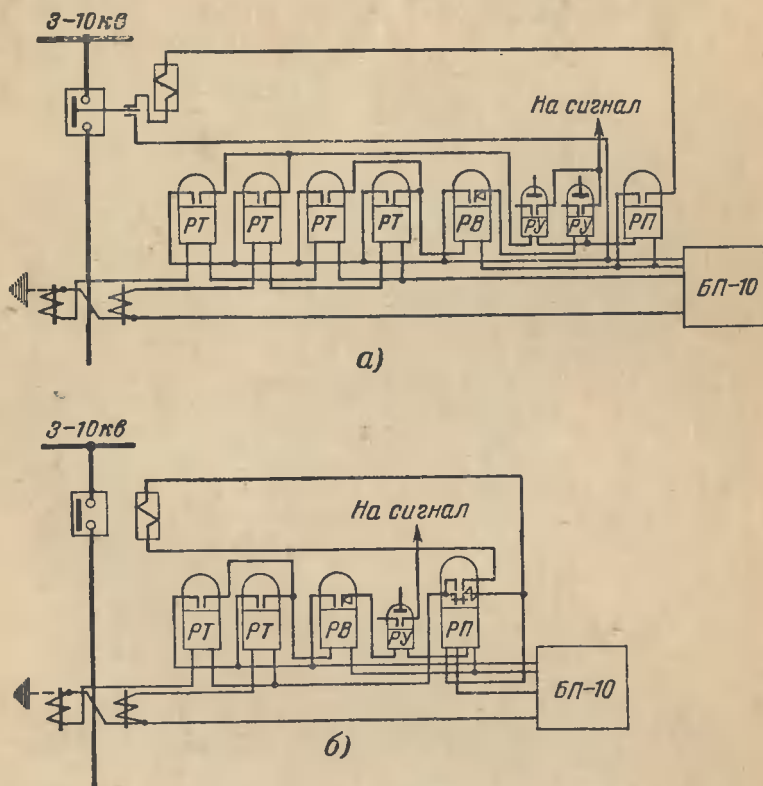


Рис. 18. Схемы защиты с блоком питания.

чае используется реле времени, предназначенное для работы на постоянном оперативном токе. Такая схема приведена на рис. 18,б. Она отличается от схемы на рис. 18,а тем, что в ней имеется выходное промежуточное реле РП-341 для дешунтирования катушки отключения. Токковое промежуточное реле РП-341 и катушка отключения включены на разность токов двух фаз.

## 5. ЗАЩИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ЗАРЯЖЕННОГО КОНДЕНСАТОРА

### Зарядное устройство типа УЗ-400

Энергия, запасенная в заряженном конденсаторе, может быть использована для питания катушки отключения привода. Заряд конденсатора осуществляется в нормальном режиме от цепей напряжения с помощью зарядного устройства типа УЗ-400, разработанного во ВНИИЭ.

Зарядное устройство, схема которого приведена на рис. 19, состоит из повышающего трансформатора *ТН* с ответвлениями для подгонки зарядного напряжения,

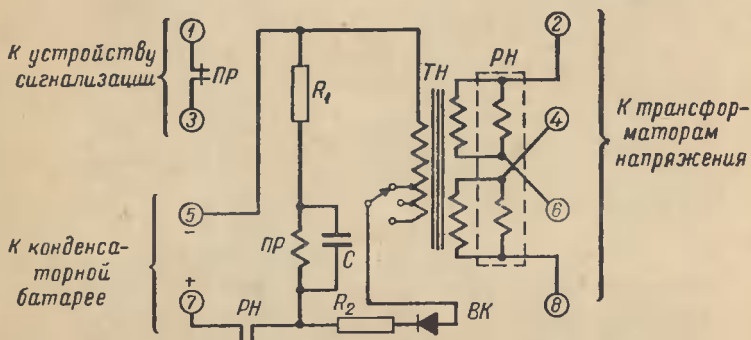


Рис. 19. Схема зарядного устройства УЗ-400.

меднозакисных выпрямителей *ВК-20*, поляризованного реле *ПР* и реле напряжения *РН*. Зарядное устройство присоединяется к источнику напряжения 110/220 в. Трансформатор *ТН* служит для повышения напряжения до 400 в.

Увеличение напряжения, до которого заряжаются конденсаторы, предусмотрено в целях уменьшения их емкости, так как энергия, запасаемая конденсатором, пропорциональна квадрату напряжения.

Уменьшение емкости конденсаторов желательно, так как позволяет использовать конденсаторы меньших размеров. С помощью выпрямителей производится однополупериодное выпрямление напряжения в связи с тем, что практически заряд конденсатора может быть осуществлен только постоянным током. Поляризованное реле

предусмотрено для сигнализации исчезновения напряжения на выходе зарядного устройства, что может иметь место при падении питающего напряжения или при пробое заряжаемых конденсаторов.

Для предотвращения разряда конденсаторов через обратное сопротивление выпрямителей при снижении или исчезновении питающего напряжения предусмотрено минимальное реле напряжения. Реле имеет уставку порядка 75—80% номинального напряжения. При сраба-

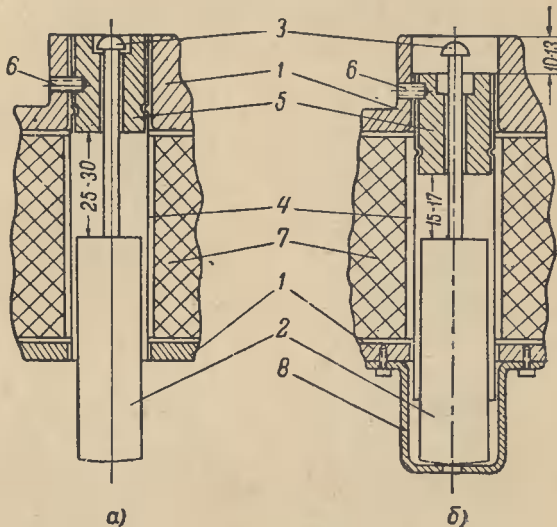


Рис. 20. Конструкция электромагнита отключения привода ПС-10.

*a* — заводская; *б* — измененная;  
 1 — магнитопровод; 2 — якорь; 3 — болт; 4 — направляющая гильза; 5 — упор; 6 — упорный винт; 7 — катушка; 8 — ограничивающая скоба (латунь).

тывании реле с помощью его контакта разрывается выходная цепь зарядного устройства.

Величина емкости конденсатора зависит от величины энергии, необходимой для надежного действия катушки отключения.

Во ВНИИЭ были проведены опыты по определению величин емкостей, необходимых для выключателей типов ПГ-10 и ПС-10. Для надежного действия привода ПГ-10 при использовании катушки отключения со спе-

циальными обмоточными данными (10 000 витков, провод ПЭ 0,27), емкость конденсатора должна составлять 25—30 мкф. Для надежного действия привода ПС-10 емкость должна быть порядка 75 мкф при последовательном соединении секций обмотки электромагнита отключения и 90 мкф — при параллельном соединении. Емкость конденсаторов может быть снижена, если произвести незначительную переделку электромагнита. Заводская и измененная конструкции электромагнита приведены на рис. 20.

Таким образом, с помощью конденсаторных устройств может быть выполнена релейная защита линий 6—10 кВ с выключателями, оборудованными не только легкими приводами, но и тяжелыми соленоидными приводами, например типа ПС-10.

### Схемы защиты с использованием зарядного устройства УЗ-400

На рис. 21 приведена схема максимальной токовой защиты, в которой отключение выключателя производится за счет энергии, запасенной в конденсаторе *E*. Заряд конденсатора осуществляется с помощью зарядного устройства УЗ-400, которое питается от трансформатора

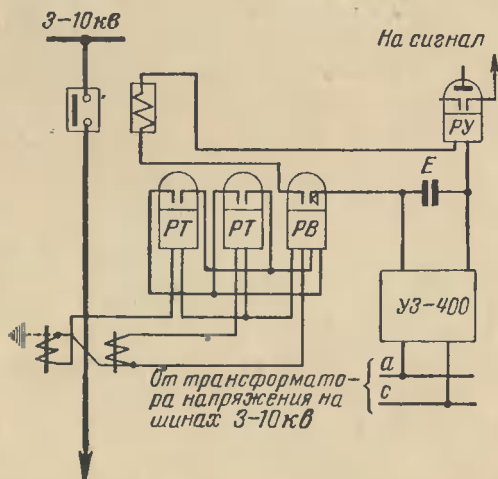


Рис. 21. Схема защиты с использованием зарядного устройства УЗ-400.

напряжения, установленного на шинах подстанции. Питание зарядного устройства может осуществляться также от трансформатора собственных нужд.

При срабатывании защиты реле времени замыкает цепь катушки отключения, на которую разряжается конденсатор, что приводит к отключению выключателя.

Зарядное устройство может быть использовано для заряда нескольких конденсаторов. Максимальная ем-

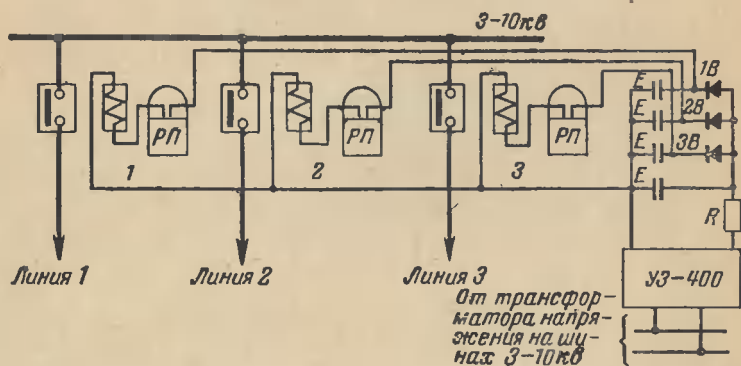


Рис. 22. Использование общего зарядного устройства для трех линий.

*1-3*—выходные промежуточные реле защит линий.

кость одновременно заряжаемых конденсаторов не должна превышать 500 мкф.

На рис. 22 приведена схема выходных цепей защит для случая, когда одно зарядное устройство используется для трех линий. В этом случае, чтобы предотвратить взаимный разряд конденсаторов, предусмотрены разделительные выпрямители 1В, 2В и 3В.

В связи с наличием разделительных выпрямителей, что приводит к отсутствию сглаживания выпрямленного напряжения, возможна работа в нормальных условиях поляризованного реле на сигнал. Для предотвращения этого предусмотрен конденсатор на выходе зарядного устройства емкостью 5 мкф. Дополнительно предусмотрено сопротивление R, предотвращающее повреждение зарядного устройства при замыканиях в выходных цепях.

## 6. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ НА ПЕРЕМЕННОМ ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ ЛИНИЙ 3—10 кВ

### Расчет максимальной токовой защиты

Расчет максимальной токовой защиты производится с целью определения тока срабатывания и временной характеристики защиты для защит с зависимой от тока характеристикой и выдержки времени реле времени для защит с независимой характеристикой.

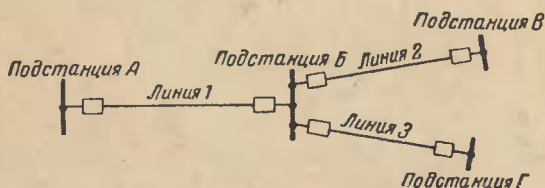


Рис. 23. Участок сети.

На рис. 23 приведен участок сети. Линия 1 питает подстанцию Б, от шин которой отходят линии 2 и 3. При коротком замыкании на одной из них, например на линии 2, приходит в действие как максимальная защита поврежденной линии, так и защита линии 1. Однако защита поврежденной линии должна сработать раньше, чем защита линии 1. После отключения повреждения реле тока вернется в исходное положение.

Ток, при котором реле возвращается в исходное положение, называется током возврата реле и обозначается  $I_{в.р}$ . Отношение тока возврата к току срабатывания называется коэффициентом возврата реле:

$$k_{в} = \frac{I_{в.р}}{I_{с.р}}. \quad (9)$$

Ток возврата реле меньше его тока срабатывания, что объясняется наличием сил трения между подвижными и неподвижными частями реле, препятствующих возврату подвижных частей реле в исходное положение, а также уменьшением тока, необходимого для удержания якоря реле в положении, соответствующем срабатыванию, в связи с уменьшением воздушного зазора магнитной системы реле.

Если после отключения короткого замыкания ток в реле защиты линии 1, определяемый рабочим током, не

будет меньше тока его возврата, то защита будет продолжать работать, и через некоторый промежуток времени произойдет неправильное отключение линии. Для предотвращения этого ток возврата реле должен быть больше максимального рабочего тока линии.

Из вышесказанного следует, что ток срабатывания реле тока максимальной токовой защиты должен выбираться исходя из следующих условий:

а) реле тока не должны срабатывать при протекании по линии максимального рабочего тока;

б) реле тока, пришедшее в действие от токов короткого замыкания, должны вернуться в исходное положение, если ток, протекающий по линии, уменьшится до величины, равной максимальному рабочему току.

Ток срабатывания реле выбирается по выражению, составленному с учетом приведенных расчетных условий:

$$I_{с.р} = \frac{k_{сх} k_n I_{раб.макс}}{k_v n_T}, \quad (10)$$

где  $I_{раб.макс}$  — максимальный рабочий ток линии;

$n_T$  — коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$k_{сх}$  — коэффициент схемы включения реле;

$k_n$  — коэффициент надежности.

Коэффициент  $k_n$  введен для учета погрешностей реле и неточности в определении  $I_{раб.макс}$ . Величины коэффициентов  $k_n$  и  $k_v$ , принимаемых в расчетах, зависят от качества наладки и эксплуатации реле. Для реле РТВ можно принять  $k_n = 1,4$  и  $k_v = 0,7—0,85$ . Следует иметь в виду, что коэффициент возврата реле РТВ определяется для положения подвижных частей, при котором ударник находится в зацеплении с часовым механизмом. С подъемом вверх сердечника и ударника коэффициент возврата реле уменьшается.

Для защит с реле типа ИТ-85 и ЭТ-520 коэффициент надежности принимается порядка  $k_n = 1,2$  и коэффициент возврата  $k_v = 0,8—0,85$ .

Максимальная токовая защита должна надежно действовать при повреждениях на линии, на которой она установлена, а также на линиях, трансформаторах и других элементах сети, питаемых по этой линии.

Оценка надежности действия защиты производится по так называемому коэффициенту чувствительности, который подсчитывается по выражению

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.з. мин}}}{n_{\text{T}} I_{\text{с.р}}}, \quad (11)$$

где  $I_{\text{к.з. мин}}$  — минимальный ток двухфазного короткого замыкания.

Защита должна иметь коэффициент чувствительности не меньше  $k_{\text{ч}} = 1,5$  при коротких замыканиях на защищаемой линии и  $k_{\text{ч}} = 1,2$  при коротких замыканиях на смежных участках. Практически коэффициент чувствительности подсчитывается по минимальному току двухфазного короткого замыкания в конце рассматриваемой линии или на шинах низшего напряжения трансформатора.

Обратимся вновь к рис. 23. Рассмотрим способ выбора временной характеристики защиты линии 1, установленной на подстанции А. При повреждении на линии 2 приходит в действие как защита поврежденной линии 2, так и защита линии 1. Однако повреждение должно быть отключено защитой линии 2. Если первой сработает защита линии 1 и отключит свой выключатель, то будет нарушено электроснабжение потребителей, питаемых не только по поврежденной линии 2, но и по неповрежденной линии 3, что в данном случае является недопустимым. Для того чтобы не произошло ложного отключения линии 1 выдержка времени защиты этой линии выбирается большей выдержки времени защиты линии 2.

При выполнении защиты линии 1 с независимой от тока выдержкой времени (при наличии отдельного реле времени) она определяется по выражению

$$t_1 = t_2 + \Delta t, \quad (12)$$

где  $\Delta t$  — ступень селективности, принимаемая равной 0,5—0,6 сек.

Для токовых реле с зависимой характеристикой (реле РТВ и ИТ-85) согласование защит по времени производится при определенной величине тока, так как выдержка времени этих защит зависит от величины тока.

Защита линии 1 согласовывается по времени с одной из защит линий 2 или 3, которая при повреждении в начале своей линии срабатывает с наибольшей выдержкой времени. Допустим, это будет защита линии 2, а интересующая нас выдержка времени равна  $t_2$ . Выдержка времени защиты линии 1 определяется по выражению (12). Для реле РТВ ступень селективности принимается порядка  $\Delta t = 0,7 - 1,2$  сек и для реле типа ИТ-85 — порядка  $\Delta t = 0,7$  сек. Ток в реле защиты линии 1, при котором производится согласование защит, определяется по выражению

$$I_p = \frac{k_{сх} I_{к.з.макс}}{n_T}, \quad (13)$$

где  $I_{к.з.макс}$  — максимальный ток короткого замыкания в начале линии 2.

Необходимо отметить следующее, что когда защиты линий 2 и 3 выполнены с включением реле на разность токов двух фаз, а защита линии 1 — на фазные токи, согласование следует производить по максимальному току двухфазного короткого замыкания между фазами А и В или В и С. Это объясняется тем, что при трехфазных коротких замыканиях ток в реле, включенном на разность токов двух фаз, в 1,73 раза больше тока, соответствующего фазному току и, следовательно, реле работает с меньшей выдержкой времени по сравнению с реле, включенным на фазные токи. При двухфазных коротких замыканиях АВ или ВС токи в реле независимо от схемы включения соответствуют фазным токам. Выдержка времени защит линий 2 и 3 при той же величине тока повреждения при двухфазном коротком замыкании больше, чем при трехфазном.

Выдержка времени ориентировочно может быть определена расчетным путем по типовой временной характеристике. Подробное описание этого способа дано ниже в примере расчета защиты.

Однако следует иметь в виду, что характеристики отдельных экземпляров реле типа РТВ могут значительно отличаться от типовой характеристики. В связи с этим наладка защиты должна производиться по фактической характеристике реле, полученной при испытаниях.

## Расчет токовой отсечки

Для быстрого отключения повреждений на линии в ряде случаев предусматривается токовая отсечка. Для выполнения ее используются реле тока, срабатывающие без выдержки времени. Расчет токовой отсечки имеет целью определение тока срабатывания реле.

Ток срабатывания реле выбирается по условию отстройки от короткого замыкания в конце защищаемой линии:

$$I_{с.р} = \frac{k_{сх} k_n I_{к.з.макс}}{n_T}, \quad (14)$$

где  $I_{к.з.макс}$  — максимальный ток трехфазного короткого замыкания в конце линии.

При расчетах отсечки с реле РТМ коэффициент надежности принимается равным  $k_n = 1,8—2$ , реле ИТ-85—1,4—1,5 и реле ЭТ-520—1,2—1,3.

Следует отметить, что токовая отсечка работает при повреждениях не на всей линии, а только на части ее.

Чувствительность токовой отсечки проверяется по короткому замыканию в начале линии. Для этой цели используется выражение (11), где минимальный ток двухфазного короткого замыкания  $I_{к.з.мин}$  принимается для повреждения в начале защищаемой линии. Для токовой отсечки коэффициент чувствительности должен быть порядка  $k_\chi = 2$ .

## Проверка нагрузки на трансформаторы тока

Точность работы трансформаторов тока зависит от величины сопротивления его вторичной цепи. Чем больше сопротивление вторичной цепи, тем с большей погрешностью работают трансформаторы тока. Для трансформаторов тока считается допустимой погрешность во вторичном токе не более 10%. Это значит, что действительный вторичный ток отличается от вторичного тока, подсчитанного по выражению

$$I_{в} = \frac{I_{п}}{n_T}, \quad (15)$$

не более чем на 10%. В выражении (15) через  $I_n$  обозначен ток, протекающий по первичной обмотке трансформатора тока.

Сравнительно большое потребление встроенных реле тока РТВ и РТМ, а также катушек отключения вызывает необходимость проверки нагрузки на трансформаторы тока, используемые для релейной защиты на переменном оперативном токе.

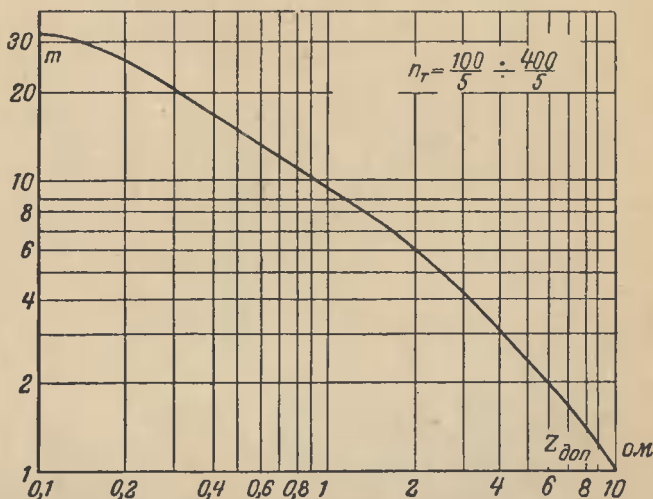


Рис. 24. Кривая кратностей первичного тока при 10%-ной погрешности для сердечников класса «Р» трансформаторов тока типа ТКЛ и ТПЛ.

Для проверки трансформаторов тока в каталогах и справочниках даются кривые кратностей первичного тока при 10%-ной погрешности. В качестве примера на рис. 24 приведена такая кривая для сердечника класса «Р» трансформаторов тока типа ТКЛ и ТПЛ. По вертикальной оси отложена кратность тока, протекающего через первичную обмотку трансформатора тока, по отношению к его первичному номинальному току  $m$ , а по горизонтальной оси — допустимое сопротивление нагрузки  $Z_{доп}$ , при котором погрешность не превышает 10%.

Нагрузка на трансформаторы тока состоит из сопротивлений реле, катушек отключения, соединительных проводов (кабелей) и переходных сопротивлений в ме-

сте контактных соединений. При определении расчетного сопротивления учитывается влияние трансформаторов тока, имеющих с рассматриваемым трансформатором общие цепи.

Сопротивления реле подсчитываются по выражению

$$z_p = \frac{S_{c.p.}}{I_{c.p.}^2}, \quad (16)$$

где  $S_{c.p.}$  — мощность, *ва*, потребляемая реле при срабатывании. Для реле РТВ и РТМ  $S_{c.p.} = 50 \text{ вa}$  (в настоящее время есть реле с  $S_{c.p.} \approx 20 \text{ вa}$ ).

$I_{c.p.}$  — ток срабатывания реле, *а*.

Сопротивление соединительных проводов подсчитывается по выражению

$$z_{np} = \frac{ql}{S}, \quad (17)$$

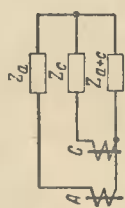


где  $q$  — удельное сопротивление, равное для медных проводов  $0,0175 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$  и алюминиевых  $0,021 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ ;

$l$  — длина провода, *м*;

$S$  — сечение провода, *мм*<sup>2</sup>.

Расчетные выражения для определения нагрузки на трансформаторы тока для различных схем защиты приведены в табл. 6. Схема № 1 составлена для случая, когда имеются сопротивления, по которым протекают фазные токи ( $z_a$  и  $z_c$ ), и сопротивления, по которым протекает сумма токов фаз *A* и *C* ( $z_{a+c}$ ). Схема № 2 отличается от схемы № 1 тем, что она составлена для случая наличия сопротивлений  $z_{a-c}$ , по которым протекает не сумма токов фаз *A* и *C*, а их разность. Схема № 3 составлена для случая, когда имеются только сопротивления, по которым протекает разность токов фаз *A* и *C*. Под сопротивлениями  $z_a$ ,  $z_c$ ,  $z_{a+c}$  и  $z_{a-c}$  следует понимать сумму соответствующих сопротивлений проводов, реле, катушек отключения и других элементов схемы. Переходные сопротивления в месте контактных соединений учитываются введением в расчетные выражения  $z_{пер}$ , величина которого принимается равной  $0,05 \text{ ом}$ .

Таблица 6

№ СХЕМЫ	Расчетная схема	Вид короткого замыкания	Расчетная нагрузка на трансформаторы тока, Ом	Коэффициент схемы при включении реле	
				на фазные токи	на разность токов двух фаз
1		Трехфазное к. з.	$z_a + z_{a+c} + z_{пер}$	1	—
		Двухфазное к. з. <i>AB</i> или <i>BC</i>	$z_a + z_{a+c} + z_{пер}$	1	—
		Двухфазное к. з. <i>AC</i>	$z_a + z_{пер}$	1	—
2		Трехфазное к. з.	$z_a + 1,73z_{a-c} + z_{пер}$	1	1,73
		Двухфазное к. з. <i>AC</i>	$z_a + 2z_{a-c} + z_{пер}$	1	2
		Двухфазное к. з. <i>AB</i> или <i>BC</i>	$z_a + z_{a-c} + z_{пер}$	1	1
		Трехфазное к. з.	$1,73z_{a-c} + z_{пер}$	—	1,73
3		Двухфазное к. з. <i>AC</i>	$2z_{a-c} + z_{пер}$	—	2
		Двухфазное к. з. <i>AB</i> или <i>BC</i>	$z_{a-c} + z_{пер}$	—	1

Кратность первичного тока по отношению к номинальному току трансформатора тока определяется по выражению

$$m = \frac{k_n I_{\text{расч}}}{k_{\text{сх}} I_{\text{ном}}}, \quad (18)$$

где  $k_n = 1,1 - 1,2$  — коэффициент надежности;

$k_{\text{сх}}$  — коэффициент схемы, учитывающий, во сколько раз ток, протекающий через реле, больше вторичного тока трансформатора тока. Коэффициенты схемы даны в табл. 6;

$I_{\text{расч}}$  — расчетный первичный ток;

$I_{\text{ном}}$  — номинальный первичный ток трансформаторов тока.

Расчетный ток для отсечки принимается равным:

$$I_{\text{расч}} = n_T I_{\text{с.р.}} \quad (19)$$

Для максимальной токовой защиты с реле РТВ или ИТ-85 в качестве расчетного тока принимается ток, при котором производится согласование защиты по времени с другой защитой. Схемы защиты, содержащие токовую отсечку и максимальную токовую защиту, должны проверяться при расчетном токе, определяемом по выражению (19).

Определив расчетную кратность первичного тока по кривым кратностей при 10% погрешности (см. рис. 24), находят величину допустимого сопротивления  $z_{\text{доп}}$  и сравнивают его с расчетным сопротивлением  $z_{\text{расч}}$ . Если расчетное сопротивление  $z_{\text{расч}}$  меньше допустимого  $z_{\text{доп}}$ , то, следовательно, трансформаторы тока выбраны правильно.

При определении  $z_{\text{расч}}$  следует принимать наибольшее значение из подсчитанных для различных видов короткого замыкания.

Проверка нагрузки на трансформаторы тока в схемах максимальной токовой защитой с дешунтированием должна производиться с учетом катушки отключения.

В схемах, содержащих максимальную токовую защиту и отсечку, проверка производится по двум режимам: первый — после дешунтирования катушки отключения

при токе срабатывания максимальной токовой защиты. второй — до дешунтирования катушки отключения при токе срабатывания отсечки. Следует отметить, что после дешунтирования катушки отключения в результате работы электромагнитного элемента реле ИТ-85, хотя ток в реле может уменьшиться за счет увеличения погрешности трансформаторов тока, однако возврат электромагнитного элемента маловероятен ввиду его низкого коэффициента возврата, а катушка отключения будет работать надежно, так как ток в ней будет больше тока ее срабатывания, даже с учетом возможных значительных погрешностей трансформаторов тока. В том случае, если возникает опасность возврата реле тока типа ЭТ-520 после дешунтирования катушки отключения промежуточным реле, в схеме предусматривается самоудерживание.

В случаях, если трансформаторы тока не удовлетворяют требованию 10%-ной погрешности, следует рассмотреть возможность снижения нагрузки на трансформаторы тока путем увеличения коэффициента трансформации трансформаторов тока, использования других схем защиты, уменьшения сопротивления соединительных проводов, включения последовательно двух трансформаторов тока и т. п.

#### **Выбор тока срабатывания катушек отключения, промежуточных реле и токовых реле времени**

Ток срабатывания катушки отключения принимается с таким расчетом, чтобы при срабатывании реле тока она надежно действовала после дешунтирования. С этой целью ток срабатывания катушки отключения принимается меньшим тока срабатывания реле тока:

$$I_{с.к} = \frac{I_{с.р}}{k_n}, \quad (20)$$

где  $I_{с.р}$  — ток срабатывания реле тока;

$k_n$  — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,4—2.

Коэффициент надежности введен для учета возможных погрешностей в настройке реле тока и катушки отключения, а также погрешностей трансформаторов тока.

Ток срабатывания промежуточных реле типа РП-341 или РП-321, а также токового реле времени принимается меньшим тока срабатывания реле тока и может подсчитываться по выражению (20). Коэффициент надежности  $k_n$  следует принимать порядка 1,3—1,5.

### Проверка надежности работы переходных контактов реле типов ИТ-85 и РП-341

Как было указано выше, переходные контакты реле типов ИТ-85 и РП-341 рассчитаны на дешунтирование цепи при токах не более 150 *a*. Однако во вторичных цепях трансформаторов тока могут протекать токи более 150 *a*. В связи с этим возникает необходимость определения максимального вторичного тока и сравнения его с допустимым током для контактов.

Точный расчет вторичного тока при заданной величине первичного тока достаточно сложен и поэтому в настоящей брошюре не приводится. Ниже даются два простых способа приближенного определения максимального вторичного тока.

По первому способу максимальный вторичный ток определяется по следующему выражению

$$I_{в.макс} = \frac{k_{сх} I_{к.з.макс}}{n_T}, \quad (21)$$

где  $I_{к.з.макс}$  — максимальный ток короткого замыкания.

Максимальный ток короткого замыкания будет иметь место при трехфазном коротком замыкании в начале линии.

По второму способу  $I_{в.макс}$  определяется по так называемой максимальной кратности вторичного тока  $n_{ном}$ , под которой понимается отношение наибольшего возможного вторичного тока при первичном токе, не превышающем гарантируемой устойчивости трансформатора к токам короткого замыкания, к его номинальному значению при номинальной вторичной нагрузке  $z_{ном}$ . Величины  $n_{ном}$  и  $z_{ном}$  даются в каталогах на трансформаторы тока, например для трансформаторов тока типа ТКЛ и ТПЛ  $n_{ном} = 16$  при  $z_{ном} = 0,6$  ом. Максимальный вторичный ток равен:

$$I_{в.макс} = k_{сх} n I_{в.ном}, \quad (22)$$

где  $I_{в.ном}$  — номинальный вторичный ток трансформатора тока;

$k_{сх}$  — коэффициент схемы.

Если нагрузка на трансформаторы тока отличается от номинальной, то максимальная кратность вторичного тока может быть определена по выражению

$$n = n_{ном} \frac{\beta + z_{ном}}{\beta + z_{в}}, \quad (23)$$

где  $\beta$  — коэффициент, величина которого дается в каталогах;

$z_{в}$  — вторичная нагрузка, *ом*.

Нагрузка на трансформаторы тока подсчитывается по выражениям, приведенным в табл. 6.

Первый способ имеет тот недостаток, что не учитывается погрешность трансформатора тока, и поэтому вторичный ток, подсчитанный по выражению (22), получается несколько завышенным по отношению к фактической его величине.

При расчетах по второму способу ток тоже получается завышенным, так как он подсчитывается для такой величины первичного тока, которой может практически и не быть.

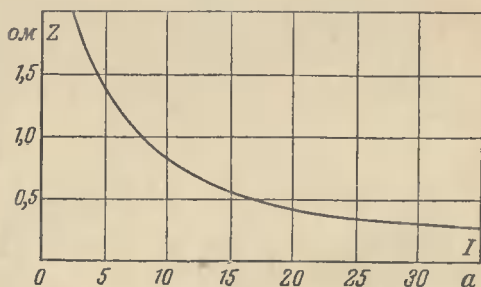


Рис. 25. Кривая зависимости сопротивления от тока для блока питания БП-10.

При определении  $z_{в}$  необходимо учесть изменение сопротивлений реле в результате насыщения магнитной системы при больших токах. На рис. 25 приведена кривая зависимости сопротивления блока питания БП-10 от тока.

Если ток  $I_{в.макс}$ , подсчитанный по выражению (21), получается меньше 150 а, то, следовательно, контакты реле будут работать надежно.

Если ток  $I_{в.макс}$ , подсчитанный по формуле (21), больше 150 а, то следует подсчитать его по выражению (22) и опять сравнить с допустимым током для контактов. Если окажется, что ток имеет величину, большую чем 150 а, то защита по рассматриваемой схеме не может быть использована без точной проверки расчетным или опытным путем максимального вторичного тока.

### Пример расчета защиты, выполненной с использованием реле тока РТВ и РТМ

Ниже приводится расчет защиты, которая состоит из токовой отсечки с реле РТМ и максимальной токовой защиты с реле РТВ. Схема защиты приведена на рис. 8,б.

Задано:

а) Максимальный рабочий ток линии  $I_{раб.макс} = 200$  а.

б) Минимальный ток двухфазного короткого замыкания в конце защищаемой линии  $I_{к.з.мин} = 700$  а, в конце смежной линии  $I_{к.з.мин} = 550$  а.

в) Максимальный ток трехфазного короткого замыкания в конце защищаемой линии  $I_{к.з.макс} = 850$  а.

г) Минимальный ток двухфазного короткого замыкания в начале защищаемой линии  $I_{к.з.мин} = 6000$  а.

д) Коэффициент трансформации трансформаторов тока  $n_T = \frac{300}{5} = 60$ .

Расчет производится в следующем порядке:

а) По выражению (10) определяем ток срабатывания реле РТВ:

$$I_{с.р} = \frac{k_{сх} k_n I_{раб.макс}}{k_b n_T} = \frac{1 \cdot 1,4 \cdot 200}{0,7 \cdot 60} = 6,7 \text{ а.}$$

Для реле тока типа РТВ принято:  $k_n = 1,4$ ;  $k_b = 0,7$ .

Принимаем ближайшую большую уставку  $I_{с.р} = 7$  а.

б) Проверяем чувствительность защиты.

Коэффициент чувствительности определяется согласно выражению (11) при коротком замыкании в конце защищаемой линии:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.з.мин}}}{n_{\text{T}} I_{\text{с.р}}} = \frac{700}{60 \cdot 7} = 1,66;$$

при коротком замыкании в конце смежной линии:

$$k_{\text{ч}} = \frac{550}{60 \cdot 7} = 1,3.$$

в) По выражению (14) определяем ток срабатывания реле отсечки РТМ:

$$I_{\text{с.р}} = \frac{k_{\text{сх}} k_{\text{н}} I_{\text{к.з.макс}}}{n_{\text{T}}} = \frac{1,73 \cdot 2 \cdot 850}{60} = 49 \text{ а};$$

$k_{\text{н}}$  — коэффициент надежности принимается равным 2.

Принимаем ближайшее значение (см. табл. 1)  $I_{\text{с.р}} = 50 \text{ а}$ .

г) Проверяем чувствительность отсечки по короткому замыканию в начале линии:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.з.мин}}}{n_{\text{T}} I_{\text{с.р}}} = \frac{6000}{60 \cdot 50} = 2,0.$$

д) Проверяем нагрузку на трансформаторы тока.

Для упрощения расчетов сопротивлением соединительных проводов и переходными сопротивлениями в местах контактных соединений ввиду их малой величины пренебрегаем. В рассматриваемой схеме через реле РТВ протекают фазные токи, а через реле РТМ — разность токов фаз А и С. Таким образом, расчет следует производить по выражениям для схемы № 2 табл. 6.

Сопротивления реле подсчитываем по формуле (16):

$$z_{\text{а}} = z_{\text{р(РТВ)}} = \frac{S_{\text{с.р}}}{I_{\text{с.р}}^2} = \frac{50}{7^2} = 1 \text{ ом};$$

$$z_{\text{а-с}} = z_{\text{р(РТМ)}} = \frac{S_{\text{с.р}}}{I_{\text{с.р}}^2} = \frac{50}{50^2} = 0,02 \text{ ом}.$$

Расчетные сопротивления (см. табл. 6):

для трехфазного короткого замыкания

$$z_{\text{расч}} = z_{\text{р(РТВ)}} + 1,73 z_{\text{р(РТМ)}} = 1 + 1,73 \cdot 0,02 = 1,03 \text{ ом};$$

для двухфазного короткого замыкания  $AC$

$$z_{\text{расч}} = z_{\text{P(РТВ)}} + 2z_{\text{P(РТМ)}} = 1 + 2 \cdot 0,02 = 1,04 \text{ ом};$$

для двухфазного короткого замыкания  $AB$  или  $BC$

$$z_{\text{расч}} = z_{\text{P(РТВ)}} + z_{\text{P(РТМ)}} = 1 + 0,02 = 1,02 \text{ ом}.$$

Проверку производим по первичному току, соответствующему току срабатывания отсечки, расчетная кратность которого определяется по выражению (18):

для трехфазного короткого замыкания

$$m = \frac{1, I_{\text{с.р}} n_{\text{T}}}{I_{\text{ном}} k_{\text{сх}}} = \frac{1, 1 \cdot 50 \cdot 60}{300 \cdot 1,73} = 6,4;$$

для двухфазного короткого замыкания  $AC$

$$m = \frac{1, 1 \cdot 50 \cdot 60}{300 \cdot 2} = 5,5;$$

для двухфазного короткого замыкания  $AB$  или  $BC$

$$m = \frac{1, 1 \cdot 50 \cdot 60}{300 \cdot 1} = 11.$$

По кривой определяем величину допустимого сопротивления  $z_{\text{доп}}$  по условиям нагрузки на трансформаторы тока:

для трехфазного короткого замыкания  $z_{\text{доп}} = 2,0 \text{ ом};$

для двухфазного короткого замыкания  $AC$   $z_{\text{доп}} = 2,2 \text{ ом};$

для двухфазного короткого замыкания  $AB$  или  $BC$   $z_{\text{доп}} = 1,1 \text{ ом}.$

Так как расчетная нагрузка  $z_{\text{расч}}$  на трансформаторы тока меньше допустимой  $z_{\text{доп}}$ , то, следовательно, они будут работать с погрешностью, не превышающей  $10\%$ .

а) Произведем согласование по времени максимальной токовой защиты с защитами питаемых элементов. Наибольшая выдержка времени защиты питаемых элементов при токе  $850 \text{ а}$  равна  $t_2 = 2 \text{ сек}$ . Выдержка времени рассматриваемой защиты при повреждениях в начале питаемых линий определяется по выражению (12):

$$t_1 = t_2 + \Delta t = 2 + 0,8 = 2,8 \text{ сек}.$$

Степень селективности принята  $\Delta t = 0,8$  сек.

Определяем кратность тока повреждения по отношению к току срабатывания реле:

$$\frac{I_p}{I_{с.р}} = \frac{I_{к.з.макс}}{n_T I_{с.р}} = \frac{850}{60 \cdot 7} = 2,14.$$

На временную характеристику реле (рис. 7) наносим точку  $A$  с координатами  $\frac{I_p}{I_{с.р}} = 2,14$  и  $t = 2,8$  сек. Через эту точку проводим кривую так, чтобы отношение расстояний всех ее точек от соседних кривых было таким же, как у точки  $A$ . Полученная кривая есть характеристика выдержки времени защиты линии. На рис. 7 она показана пунктиром. Кратность тока в реле при коротком замыкании в начале линии более 3. Защита в этом случае будет работать с минимальной, не зависимой от величины тока выдержкой времени  $t = 1,6$  сек.

#### Пример расчета защиты с дешунтированием катушки отключения

Ниже приводится расчет защиты, содержащей токовую отсечку и максимальную токовую защиту неактивной линии. Защита выполнена по схеме рис. 15. Расчетные условия те же, что и для примера расчета, приведенного в предыдущем параграфе, за исключением минимального тока двухфазного короткого замыкания в начале линии. Этот ток для данного примера принят равным  $I_{к.з.мин} = 4100$  а. Дополнительно задается максимальный ток трехфазного короткого замыкания в начале линии —  $I_{к.з.макс} = 5000$  а.

Расчет производится в следующем порядке.

а) По выражению (10) определяем ток срабатывания реле тока максимальной токовой защиты  $I_{с.р} = 4,7$  а.

Для защиты может быть использовано реле тока ЭТ-523/10.

б) Проверка чувствительности максимальной токовой защиты показала, что защита обладает требуемой чувствительностью как к повреждениям на защищаемой линии, так и на смежной линии (коэффициенты чувствительности соответственно равны  $k_q = 2,5$  и  $k_q = 1,95$ ).

в) По выражению (15) определяем ток срабатывания реле тока отсечки:  $I_{с.р} = 34 \text{ а}$ .

Для отсечки принимаем реле тока ЭТ-521/50.

г) Проверка чувствительности отсечки по короткому замыканию в начале линии показывает, что она также имеет требуемую чувствительность ( $k_q = 2,02$ ).

д) Проверим надежность работы дешунтирующих контактов реле РП-341. Для этой цели определим максимальный ток, протекающий через контакты по выражению (21):

$$I_{в.макс} = \frac{k_{сх} I_{к.з.макс}}{n_T} = \frac{1,73 \cdot 5000}{60} = 144 \text{ а}.$$

Ток  $I_{в.макс}$  меньше допустимого тока для контактов (150 а), и, следовательно, они будут работать надежно.

е) По выражению (20) определяем ток срабатывания катушки отключения

$$I_{с.к} = \frac{I_{с.р}}{k_H} = \frac{4,7}{1,5} = 3,14 \text{ а},$$

где  $I_{с.р} = 4,7 \text{ а}$  — ток срабатывания реле тока максимальной токовой защиты.

Если не имеется возможности выполнить катушку отключения с током срабатывания  $I_{с.р} = 3,14 \text{ а}$ , следует использовать стандартную катушку отключения с током срабатывания  $I_{с.р} = 3,5 \text{ а}$ . При этом ток срабатывания реле тока максимальной защиты следует увеличить:

$$I_{с.р} = k_H I_{с.к} = 1,5 \cdot 3,5 = 5,3 \text{ а}.$$

Проверка по условию чувствительности защиты показывает допустимость увеличения тока срабатывания.

ж) Произведем проверку нагрузки на трансформаторы тока.

Для режима работы реле тока максимальной токовой защиты не будем учитывать сопротивления соединительных проводов и реле защиты ввиду их незначительной величины. Так как катушка отключения включена на разность токов фаз А и С, то используем расчетные выражения для схемы № 3 табл. 6. В этом случае имеем:

$$z_{a-c} = z_{к.о} = \frac{S_{с.р}}{I_{с.к}^2} = \frac{50}{3,5^2} = 4,1 \text{ ом}.$$

Расчетные сопротивления:  
для трехфазного короткого замыкания

$$z_{\text{расч}} = 1,73z_{a-c} = 1,73 \cdot 4,1 = 7,1 \text{ ом};$$

для двухфазного короткого замыкания AC

$$z_{\text{расч}} = 2z_{a-c} = 2 \cdot 4,1 = 8,2 \text{ ом};$$

для двухфазного короткого замыкания AB или BC

$$z_{\text{расч}} = z_{a-c} = 4,1 \text{ ом}.$$

Проверку производим по первичному току, соответствующему току срабатывания токового реле максимальной токовой защиты, расчетная кратность которого равна:

$$m = \frac{I_{\text{с.р}} n_{\text{т}}}{I_{\text{ном}} k_{\text{сх}}} = \frac{1,1 \cdot 5,3 \cdot 60}{300 \cdot 1} = 1,16$$

$k_{\text{сх}} = 1$ , так как реле тока включены на фазные токи. По кривым рис. 24 определяем величину допустимого сопротивления по условиям нагрузки на трансформаторы тока  $z_{\text{доп}} = 9 \text{ ом}$ . Так как расчетная нагрузка  $z_{\text{расч}}$  на трансформаторы тока меньше допустимой, то, следовательно, в рассматриваемом случае они будут работать с погрешностью, не превышающей 10%.

При проверке трансформаторов тока в режиме работы токового реле отсечки учтем сопротивления соединительных проводов и реле. Напомним, что проверка должна производиться по режиму до дешунтирования катушки отключения. Для определения расчетной нагрузки на трансформаторы тока используем расчетные выражения для схемы № 2 табл. 6. В этом случае имеем:

$$z_a = z_{\text{пр}} + z_{\text{р(М)}};$$

$$z_c = z_{\text{пр}} + z_{\text{р(М)}};$$

$$z_{a-c} = z_{\text{пр}} + z_{\text{р(О)}} + z_{\text{р(П)}};$$

где  $z_{\text{пр}}$  — сопротивление жилы кабеля (от трансформаторов тока до панели защиты);

$z_{\text{р(М)}}$  — сопротивление реле тока максимальной токовой защиты;

$z_{\text{р(О)}}$  — то же, но для реле отсечки;

$z_{\text{р(П)}}$  — то же, но для промежуточного реле.

Длина соединительного кабеля принимается равной  $l = 25$  м и сечение жилы кабеля  $S = 4$  мм<sup>2</sup>. По выражению (17) имеем:

$$z_{\text{пр}} = \frac{ql}{S} = \frac{0,0175 \cdot 25}{4} = 0,11 \text{ ом.}$$

Сопrotивления реле тока и промежуточного реле (выражение (16)):

$$z_{\text{р(М)}} = \frac{S_{\text{с.р}}}{I_{\text{с.р.мин}}^2} = \frac{0,1}{2,5^2} = 0,016 \text{ ом};$$

$$z_{\text{р(О)}} = \frac{1}{12,5^2} = 0,0064 \text{ ом};$$

$$z_{\text{р(П)}} = \frac{S_{\text{с.р}}}{(2I_{\text{с.р}})^2} = \frac{6}{(2 \cdot 2,5)^2} = 0,24 \text{ ом.}$$

Мощность срабатывания реле тока дается в вольт-амперах для минимальной уставки реле, а промежуточного реле—для удвоенного тока срабатывания реле.

Таким образом, имеем:

$$z_a = z_c = 0,11 + 0,016 = 0,126 \text{ ом};$$

$$z_{a-c} = 0,11 + 0,0064 + 0,24 = 0,356 \text{ ом.}$$

Расчетные сопротивления:

для трехфазного короткого замыкания

$$\begin{aligned} z_{\text{расч}} &= z_a + 1,73z_{a-c} + z_{\text{пер}} = \\ &= 0,126 + 1,73 \cdot 0,356 + 0,05 = 0,813 \text{ ом}; \end{aligned}$$

для двухфазного короткого замыкания AC

$$\begin{aligned} z_{\text{расч}} &= z_a + 2z_{a-c} + z_{\text{пер}} = \\ &= 0,126 + 2 \cdot 0,356 + 0,05 = 0,888 \text{ ом}; \end{aligned}$$

для двухфазного короткого замыкания AB или BC

$$\begin{aligned} z_{\text{расч}} &= z_a + z_{a-c} + z_{\text{пер}} = \\ &= 0,126 + 0,356 + 0,05 = 0,532 \text{ ом.} \end{aligned}$$

Расчетная кратность первичного тока и величина допустимого сопротивления равны:

для трехфазного короткого замыкания

$$m = \frac{I_{с.р.} n_T}{I_{ном} k_{сх}} = \frac{1,1 \cdot 34 \cdot 60}{300 \cdot 1,73} = 4,3;$$

$$z_{доп} = 3 \text{ ом};$$

для двухфазного короткого замыкания AC

$$m = \frac{1,1 \cdot 34 \cdot 60}{300 \cdot 2} = 3,8;$$

$$z_{доп} = 3,2 \text{ ом};$$

для двухфазного короткого замыкания AB или BC

$$m = \frac{1,1 \cdot 34 \cdot 60}{300 \cdot 1} = 7,5;$$

$$z_{доп} = 1,8 \text{ ом}.$$

Величины допустимых сопротивлений  $z_{доп}$  определялись по кривым рис. 24.

Сравнивая по величине расчетные сопротивления с допустимыми  $z_{доп}$  заключаем, что и в этом рассматриваемом режиме трансформаторы тока будут работать с погрешностью, не превышающей  $10\%$ . Таким образом, трансформаторы тока выбраны правильно.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Федосеев, Релейная защита электрических систем, Госэнергоиздат, 1952.
  2. Н. В. Чернобровов, Релейная защита, Госэнергоиздат, 1956.
  3. М. А. Беркович и В. А. Семенов, Основы техники и эксплуатации релейной защиты, Госэнергоиздат, 1957.
  4. Правила устройства электроустановок, раздел III, Защита и автоматика, Госэнергоиздат, 1957.
  5. Министерство электротехнической промышленности СССР, Приводы ручные к высоковольтным выключателям. Каталог № 2 431.
  6. Центральное бюро технической информации электропромышленности, Привод пружинный ППМ-10 к высоковольтным выключателям. Каталог № 2 435.
  7. Всесоюзный научно-исследовательский институт электроэнергетики (ВНИИЭ), Информационные материалы № 41, Релейная защита и электроавтоматика на переменном оперативном токе, Госэнергоиздат, 1959.
-

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
1. Общие вопросы защиты линий 3—10 кв . . . . .	4
2. Защита с использованием реле прямого действия, встраиваемых в приводы выключателей . . . . .	13
3. Защита с использованием принципа дешунтирования катушек отключения . . . . .	22
4. Защита с использованием блока питания БП-10 . . . . .	36
5. Защита с использованием энергии заряженного конденсатора . . . . .	39
6. Расчет защиты на переменном оперативном токе линий 3—10 кв . . . . .	43
Литература . . . . .	63

---

Цена 1 р. 15 к.

С 1/1 1961 г. цена 12 коп.

---

---

## ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

### „БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА“

#### ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

- Камнев В. С., Подшипники качения в электрических машинах (выпуск 20)
- Авиновицкий И. Я., Оконцевание силовых кабелей (выпуск 21)
- Клюев С. А., Как рассчитать электрическое освещение производственного помещения (выпуск 22)
- Хомяков М. В. и Якобсон И. А., Термитная сварка многопроволочных проводов (выпуск 23)
- Федотов Б. Н., Схемы включения электрических счетчиков (выпуск 24)
- Стещенко И. Н., Техника безопасности при эксплуатации электроустановок на строительстве (выпуск 25)
- Жерве Г. К., Как рассчитать обмотку статора асинхронного двигателя (выпуск 26)
- Аптов И. С. и Хомяков М. В., Уход за изоляционным маслом (выпуск 27)
- Михалков А. В., Что нужно знать о регулировании напряжения (выпуск 28)
- Локшин М. В., Ремонт высоковольтных изоляторов до 35 кВ (выпуск 29)
- Боярченко М. А. и Шинянский А. В., Магнитные усилители (выпуск 30)
- Балуев В. К., Техника безопасности при эксплуатации переносных электроустановок (выпуск 31)
- Дементьев В. С., Как определить повреждение в силовом кабеле (выпуск 32)
- Ермолин Н. П., Как рассчитать маломощный силовой трансформатор (выпуск 33)
- Севастьянов М. И., Техника безопасности такелажных работ при монтаже энергетических установок (выпуск 34)
- Анастасиев П. И., Сооружение и монтаж воздушных линий электропередачи до 1000 в (выпуск 35)
- Ключев В. И., Выбор электродвигателей для производственных механизмов (выпуск 36)
- Мишустина Л. И., Воздушные автоматические установочные выключатели серии АЗ100 (выпуск 37)

#### ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ

- Авиновицкий И. Я., Соединения кабелей
- Гуреев И. А., Шинопроводы напряжением до 1000 в
- 
-