

## РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

### 5.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ВИДЫ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ

Релейная защита (РЗ) является основным видом электрической автоматики, без которой невозможна нормальная и надежная работа современных энергетических систем. Она осуществляет непрерывный контроль за состоянием и режимом работы всех элементов энергосистемы и реагирует на возникающие повреждения и ненормальные режимы.

**Основные понятия релейной защиты.** Релейной защитой называются специальные средства и устройства для защиты, выполняемые с помощью реле, процессоров, блоков и других аппаратов и предназначенные для отключения силовых выключателей при напряжении свыше 1 000 В или автоматических выключателей при напряжении до 1 000 В.

Более часто термин «релейная защита» используется в установках и сетях высокого напряжения. К системам автоматики в настоящей работе отнесены устройства автоматического повторного включения (АПВ), автоматического включения резерва (АВР), автоматической частотной разгрузки (АЧР), автоматической разгрузки по току (АРТ). Релейная защита является основным средством защиты линий, трансформаторов, генераторов, двигателей от аварийных и ненормальных режимов.

**Требования к РЗ.** К РЗ предъявляются следующие требования:

- **селективность (избирательность)** — способность защиты самостоятельно определять поврежденный участок сети и отключать только этот участок;
- **быстро действие** — отключение повреждения с наибольшей быстротой, что уменьшает воздействие аварийного тока на оборудование, повышает устойчивость параллельной работы генераторов энергосистемы;
- **надежность действия** — обеспечение работы при коротком замыкании в защищаемой зоне и ее бездействие при режимах, когда защита не должна работать;
- **чувствительность** — способность отключать поврежденные участки на начальной стадии повреждения;
- **простота схемы.**

**Контролируемые параметры РЗ.** Устройства РЗ могут контролировать следующие параметры: ток, напряжение, мощность, температуру, время, направление и скорость изменения контролируемой величины.

**Реле тока.** Электромагнитные реле (рис. 5.1) предназначены для отключения защищаемых цепей при превышении допустимой величины потребляемого тока. Возможно использование реле для защиты цепей и источников питания от перегрузки по току и короткого замыкания.

На магнитопровод 1 насажена катушка 2. Ток  $I_p$ , протекающий по ней, создает магнитный поток  $\Phi_m$ , который замыкается по контуру: магнитопровод, воздушные зазоры, якорь 4. Направление магнитных силовых линий определяется по правилу буравчика. Нетрудно видеть, что при любом направлении тока магнитопровод и якорь представляют собой два магнита, обращенных друг к другу разноименными полюсами. Так, на рис. 5.1 магнитные силовые линии направлены в магнитопроводе от правого полюса к левому, а в якоре — от левого полюса к правому, поэтому между якорем и магнитопроводом возникает сила притяжения. При определенном токе, называемом током срабатывания, эта сила преодолевает силу притяжения возвратной пружины 3. Тогда якорь притягивается к магнитопроводу, замыкая контакт 5. Размыкание контакта и возврат реле в исходное положение происходят при уменьшении тока до тока возврата. При этом тока сила притяжения становится меньше силы пружины.

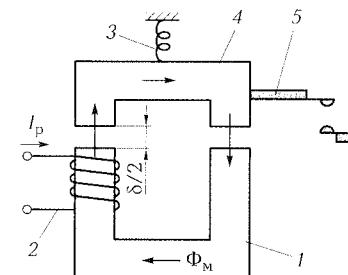


Рис. 5.1. Устройство электромагнитного реле:

1 — магнитопровод; 2 — катушка; 3 — возвратная пружина; 4 — якорь; 5 — контакт

**Реле напряжения.** Для отключения потребителей при глубоких посадках напряжения служит реле минимального напряжения прямого действия. Такие реле имеют выдержку времени на отпадание, которая регулируется в пределах 0...5 с.

Для отключения потребителя при увеличении номинального напряжения предназначены электромагнитные реле напряжения. Конструкции электромагнитных реле напряжения аналогичны конструкции реле тока (см. рис. 5.1). При протекании по катушке тока с напряжением, равным напряжению уставки, срабатывает сердечник, втягивающий катушку и сжимающий пружину, которая, поднимая ударник, запускает часовой механизм. По прошествии определенного времени часовой механизм срабатывает, отключая реле. При падении напряжения сила магнитного поля перестает преодолевать силу притяжения возвратной пружины, тогда реле срабатывает, размыкая цепь.

**Реле времени.** Реле времени служит для искусственного замедления действия устройств РЗ и электроавтоматики. На схеме, представленной на рис. 5.2, показано применение реле времени в РЗ.

При замыкании контактов токового реле КА.1 плюс источника оперативного тока подводится к обмотке реле времени КТ, которое через определенный интервал времени замыкает контакты КТ.1 в цепи катушки отключения УАТ, производя отключение выключателя. Время, проходящее с момента подачи напряжения на обмотку реле времени до замыкания его контактов, называется *выдержкой времени реле*.

Основным требованием, предъявляемым к реле времени, применяемым в схемах РЗ, является точность. Погрешность во времени действия реле со шкалой до 3,5 с не должна превышать  $\pm 0,06$  с, а при больших выдержках времени, устанавливаемых на реле со шкалой 20...30 с, не должна превышать  $\pm 0,25$  с.

Реле времени на постоянном токе должно надежно срабатывать начиная с 80 % номинального напряжения, а на переменном — с 85 %. Выдержка времени не должна зависеть от возможных в эксплуатации колебаний оперативного напряжения. Потребление обмотки электромагнитных реле времени составляет 20...30 Вт.

Конструкция реле времени с часовым механизмом представлена на рис. 5.3.

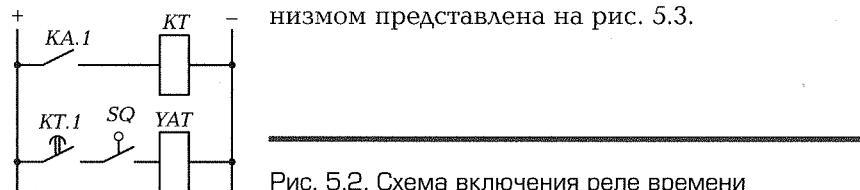


Рис. 5.2. Схема включения реле времени

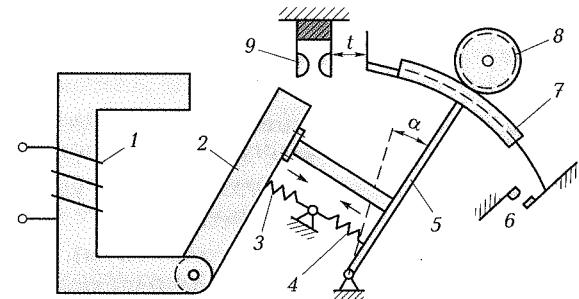


Рис. 5.3. Конструкция реле времени:

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

При появлении тока в обмотке 1 якорь 2 мгновенно втягивается, освобождая рычаг 5 с зубчатым сегментом 7. Под действием ведущей пружины 4 рычаг 5 приходит в движение, которое не является свободным, так как оно замедляется специальным устройством выдержки времени 8. Через некоторое время  $t_p$ , зависящее от расстояния  $l$  (или угла  $\alpha$ ) и скорости движения  $\omega_p$  рычага 5, последний переместится на угол  $\alpha$  и замкнет контакты реле 9. Таким образом, реле сработает с выдержкой времени  $t_p = \alpha / \omega_p$ . Устройство выдержки времени осуществляется с помощью часовому механизма, основным элементом которого является анкерное устройство.

При исчезновении тока в реле якорь и рычаг 5 должны мгновенно возвратиться в начальное положение под действием возвратной пружины 3. Это обеспечивается с помощью храпового механизма или фрикционного устройства, обладающих свободным расположением при обратном ходе сегмента 7. Регулирование выдержки времени осуществляется изменением угла  $\alpha$  путем перемещения контактов реле 9. В некоторых конструкциях предусматривается мгновенный контакт 6, позволяющий замыкать цепь с малой нерегулируемой выдержкой времени (0,15...0,20 с). Катушка реле времени не рассчитывается на длительное прохождение тока. Поэтому реле, предназначенные для длительного включения под напряжение, выполняются с добавочным сопротивлением  $R_A$ , включаемым последовательно с обмоткой реле, как показано на рис. 5.4.

Нормально сопротивление  $R_A$  зашунтируено размыкающимся мгновенным контактом реле КТ.1. После срабатывания реле этот контакт размыкается и сопротивление вводится в цепь обмотки

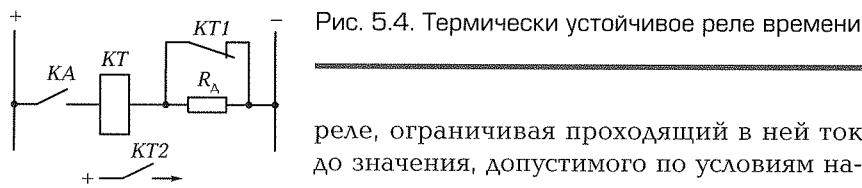


Рис. 5.4. Термически устойчивое реле времени

реле, ограничивая проходящий в ней ток до значения, допустимого по условиям нагрева и достаточного для удержания реле в сработанном состоянии.

**Промежуточные реле (логические элементы).** Промежуточные реле применяются для выполнения логических операций как реле-повторители для одновременного замыкания или размыкания нескольких цепей, а также для замыкания и размыкания цепей с большими токами.

Примеры использования промежуточных реле в схемах РЗ приведены на рис. 5.5. По способу включения промежуточные реле подразделяются на реле параллельного (рис. 5.5, а) и последовательного (рис. 5.5, б) включения. Обмотки первых включаются на полное напряжение источника питания, а вторых — на ток цепи последовательно с катушкой электромагнита отключения выключателя YAT или какого-либо другого аппарата или реле.

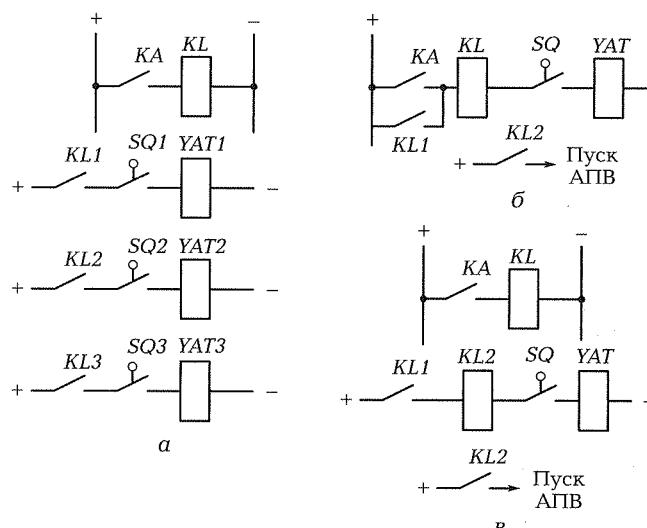


Рис. 5.5. Схемы включения промежуточных реле:

а — параллельного включения; б — последовательного включения; в — параллельного включения с удерживающей обмоткой, включаемой последовательно в управляемую контактами реле цепь

Кроме того, выпускаются реле с дополнительными удерживающими катушками, например реле параллельного включения с удерживающей обмоткой, включаемой последовательно в управляемую контактами реле цепь (рис. 5.5, в). Такое реле, подействовав от кратковременного импульса, поданного в параллельно включенную обмотку, остается в сработанном состоянии после его исчезновения под действием тока удержания, пока не сработает управляемый аппарат.

Мощность контактов должна быть достаточной для замыкания и размыкания цепей РЗ, а также для замыкания цепей управления выключателей. Потребление обмоток реле параллельного включения стремится ограничить до 6 В, с тем чтобы их цепь могли замыкать и размыкать реле с маломощными контактами.

Потребление обмоток реле последовательного включения выбирается из условия минимального падения напряжения в сопротивлении обмотки этого реле, которое допускается не более 5...10 % нормального напряжения источника оперативного тока.

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

**Указательные реле.** Указательные реле служат для фиксации действия РЗ в целом или ее структурных частей (элементов). На

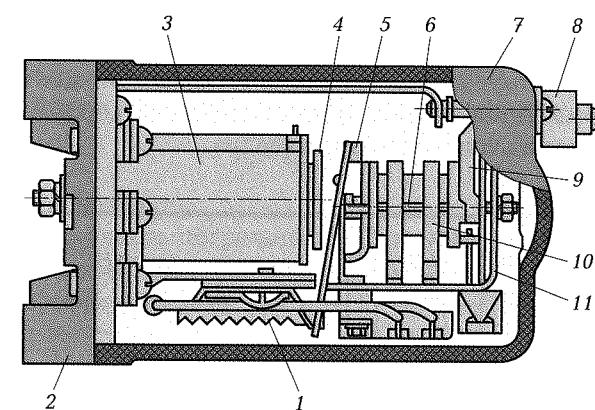


Рис. 5.6. Конструкция указательного реле типа РУ-21:

1 — возвратная пружина; 2 — цоколь; 3 — катушка; 4 — сердечник; 5 — якорь; 6 — контактный мостик; 7 — кожух; 8 — кнопка возврата; 9 — флагок; 10 — контактные пластины; 11 — скоба

рис. 5.6 показано указательное реле типа РУ-21, сигнализирующее действие РЗ на отключение выключателя.

При срабатывании релейной защиты по обмотке реле 3 проходит ток, приводящий реле в действие. Ввиду кратковременности прохождения тока в обмотке указательных реле они выполняются так, что сигнальный флагок и контакты реле остаются в сработанном состоянии до тех пор, пока их не возвратит на место обслуживающий персонал.

Указанные реле изготавливаются для последовательного и параллельного включения (рис. 5.7).

При появлении тока в обмотке 3 (см. рис. 5.6) якорь реле 5 притягивается и освобождает флагок 9. Последний падает под действие собственной массы, принимая вертикальное положение. В этом положении флагок виден через прозрачный кожух 7. Возврат флагка в начальное положение производится кнопкой 8. Выпускаются также сигнальные реле типа ЭС, выполняющие те же функции.

**Виды защиты.** Токовая защита бывает различных видов. Простейшая защита, действующая мгновенно без выдержки времени, называется токовой отсечкой. В том случае когда ток превышает расчетную величину, срабатывает токовое реле и действует на отключение выключателя.

Токовая отсечка в некоторых случаях не может обеспечить требуемую чувствительность или селективность, в частности, ее сложно отстроить от пусковых токов электродвигателей, так как при отстройке тока срабатывания от номинального тока она отключит двигатель в момент запуска, а при отстройке от пускового тока защита не сработает до большого развития повреждения. В таких случаях используется защита, действующая с выдержкой времени, или максимальная токовая защита (МТЗ).

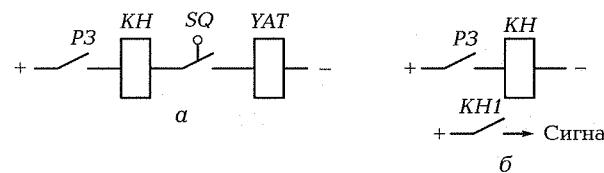


Рис. 5.7. Схемы включения указательного реле:

а — последовательного включения; б — параллельного включения; РЗ — контакт устройства релейной защиты; КН — катушка указательного реле; КН1 — контакт катушки 1; SQ — контакт указательного реле; YAT — катушка отключения

Ток срабатывания защиты МТЗ выбирается больше номинального тока двигателя, но меньше пускового тока; время — больше времени пуска двигателя.

Разновидностью МТЗ является защита от перегрузки, которая в ряде случаев действует на сигнал.

Достаточно часто применяется комбинация максимальной токовой защиты и токовой отсечки. ТО защищает от больших токов КЗ при значительных повреждениях оборудования, МТЗ — от токов, вызванных незначительными повреждениями или другими ненормальными режимами (заклинивание двигателя, обрыв фазы и т. п.).

**Расчеты параметров срабатывания максимальных токовых защит.** Под током срабатывания защиты понимается минимальный ток в фазе защищаемого элемента, при котором происходит срабатывание измерительного органа.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты определяется из следующих условий:

- 1) защита не должна сработать при прохождении максимального рабочего тока:

$$I_{c,3} > I_{\text{раб max}} \quad (5.1)$$

где  $I_{c,3}$  — ток срабатывания защиты;  $I_{\text{раб max}}$  — максимальный рабочий ток;

- 2) после отключения внешнего КЗ пусковые органы защиты должны вернуться в исходное состояние:

$$I_{c,3} > I_{\text{раб max}} / k_b, \quad (5.2)$$

где  $k_b$  — коэффициент возврата ( $k_b = 0,80 \dots 0,85$ ).

Коэффициент возврата определяется по выражению

$$k_b = I_{\text{возв}} / I_{\text{срab}}, \quad (5.3)$$

где  $I_{\text{возв}}$  — ток возврата;

- 3) необходимо учесть погрешность ТТ и реле. Окончательное выражение для определения тока срабатывания защиты записывается следующим образом:

$$I_{c,3} > \frac{k_h k_{c3}}{k_b} I_{\text{раб max}}, \quad (5.4)$$

где  $k_h$  — коэффициент надежности (принимается равным 1,10 … 1,25);  $k_{c3}$  — коэффициент самозапуска (принимается равным 2 … 3).

Селективность токовой отсечки мгновенного действия обеспечивается выбором ее тока срабатывания  $I_{c,o}$  большим, чем макси-

мальное значение тока КЗ  $I_{K3\max}$  при повреждении в конце защищаемой линии электропередачи или на стороне НН защищаемого понижающего трансформатора:

$$I_{c,o} \geq k_n I_{K3\max}. \quad (5.5)$$

**Принцип действия дифференциальной токовой защиты.** Дифференциальная токовая защита — один из видов релейной защиты, отличающийся абсолютной селективностью и выполняющийся быстродействующим (без искусственной выдержки времени). Применяется она для защиты трансформаторов, автотрансформаторов, генераторов, генераторных блоков, двигателей, линий электропередачи и сборных шин (ошиновок).

Различают продольную и поперечную дифференциальные защиты. Принцип действия продольной дифференциальной защиты основан на сравнении токов, протекающих через участки между защищаемым участком линии (или защищаемом аппаратом).

Рассмотрим принципиальную схему дифференциальной токовой защиты (рис. 5.8). Для измерения значения силы тока на концах защищаемого участка используются трансформаторы тока ( $TA_1$ ,  $TA_2$ ). Вторичные цепи этих трансформаторов соединяются с токовым реле ( $KA$ ) таким образом, чтобы на обмотку реле попадала разница токов от первого и второго трансформаторов.

В нормальном режиме (рис. 5.8, а) значения величины силы тока вычитаются друг из друга и в идеальном случае ток в цепи обмотки токового реле будет равен нулю. В случае возникновения короткого

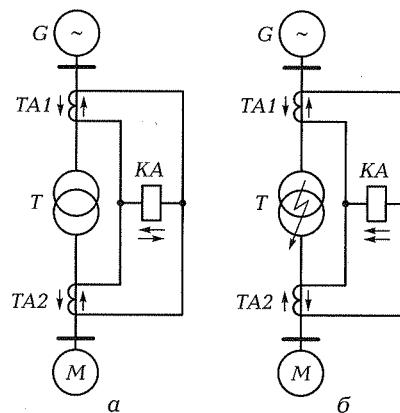


Рис. 5.8. Дифференциальная токовая защита:  
а — в нормальном режиме; б — в случае возникновения короткого замыкания

замыкания (рис. 5.8, б) на защищаемом участке на обмотку токового реле поступит уже не разность, а сумма токов, что заставит реле замкнуть свои контакты, выдав команду на отключение поврежденного участка.

В реальном случае через обмотку токового реле всегда будет протекать ток отличный от нуля, называемый током небаланса. Наличие тока небаланса объясняется рядом факторов: трансформаторы тока имеют недостаточно идентичные друг другу характеристики. Чтобы снизить влияние этого фактора, трансформаторы тока, предназначенные для дифференциальной защиты, изготавливают и поставляют попарно, подгоняя их друг к другу еще на стадии производства. Кроме того, при использовании дифференциальной защиты, например трансформатора, у измерительных трансформаторов тока изменяют число витков в соответствии с коэффициентом трансформации защищаемого трансформатора.

Некоторое влияние на возникновение тока небаланса может оказывать намагничивающий ток, возникающий в обмотках защищаемого трансформатора. В нормальном режиме этот ток может достигать 5 % от номинального. При некоторых переходных процессах, например при включении трансформатора с холостого хода под нагрузку, ток намагничивания на короткое время может в несколько раз превышать номинальный ток. Для того чтобы учесть влияние намагничивающего тока, ток срабатывания реле принимают большим, чем максимальное значение намагничивающего тока.

Неодинаковое соединение обмоток первичной и вторичной стороны защищаемого трансформатора (например, при соединении обмоток  $Y/\Delta$ ) также влияет на возникновение тока небаланса. В данном случае во вторичной цепи защищаемого трансформатора вектор тока будет смешен относительно тока в первичной цепи на  $30^\circ$ . Подобрать такое число витков у трансформаторов тока, которое позволило бы компенсировать эту разницу, невозможно. В этом случае угловой сдвиг компенсируют с помощью соединения обмоток: на стороне звезды обмотки трансформаторов тока соединяют треугольником, а на стороне треугольника соединяют звездой.

Современные микропроцессорные устройства защиты способны учитывать эту разницу самостоятельно и при их использовании, как правило, вторичные обмотки измерительных трансформаторов тока соединяют звездой на обоих концах защищаемого участка, указав это в настройках устройства защиты.

**Защита от замыканий на землю.** Действие самого распространенного вида реле замыкания на землю основывается на том принципе, что векторная сумма токов, текущих в сбалансированной

трехфазной системе, равна нулю. В эру электромеханических реле сложилась очень эффективная комбинация реле максимального тока и реле замыкания на землю; в большинстве схем защиты используется тот же принцип и в настоящее время. Реле максимального тока следят только за двумя фазами. Это обосновано тем, что замыкание на третьей фазе произойдет или на одну из этих двух фаз, или на землю. Замыкание на землю вызовет нарушение баланса во всех трех фазах. Это приведет к тому, что ток пойдет по элементу замыкания на землю и вызовет срабатывание реле замыкания на землю. Таким образом, в данной схеме используются одни и те же защитные трансформаторы тока.

**Задача от замыканий в сетях с глухозаземленной нейтралью.** Главная опасность замыканий на землю в сети с глухозаземленной нейтралью — большие токи, в некоторых случаях превышающие токи междуфазных КЗ. При длительном замыкании на землю могут быть повреждены трансформаторы с глухозаземленной нейтралью. В связи с этим эти замыкания необходимо отключать с минимальной выдержкой времени (секунды и доли секунды). Во многих случаях при замыканиях на землю могут работать и защиты от междуфазных замыканий, но для обеспечения необходимой чувствительности и селективности чаще применяются специальные защиты от замыканий на землю.

Наибольшее распространение получила токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП) (рис. 5.9). У этих защит чаще всего используются токовые реле, включенные в нулевой провод вторичных цепей трансформаторов тока и измеряющие ток нулевой последовательности (реле PT0). В некоторых случаях защита дополняется реле направления мощности, токовая обмотка которых включается в ту же цепь, что и реле PT0, а обмотка напряжения подключается к разомкнутому треугольнику вторичной цепи ТН. Таким путем обеспечивается селективная защита от замыканий на землю.

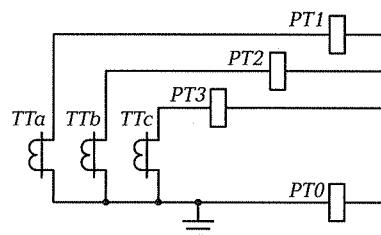


Рис. 5.9. Токовая защита нулевой последовательности

Защита, выполненная по этому принципу, применяется на линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше, на автотрансформаторах и повышающих трансформаторах. Она является одним из элементов защиты ЭПЗ-1636 и ее аналогов.

Источником тока нулевой последовательности, на который реагирует защита, является любой трансформатор с заземленной нейтралью. Кроме того, на ток нулевой последовательности влияют параллельные линии со взаимоиндукцией. В связи с этим ток замыкания на землю может заметно изменяться в зависимости от состояния сети (вывод из работы трансформаторов или линий). Поэтому для обеспечения чувствительности и селективности защиты во всех возможных режимах, а также для обеспечения дальнего резервирования ТЗНП выполняется, как правило, многоступенчатой (на линиях электропередачи — от четырех до шести ступеней). При этом в нулевой провод вторичных цепей ТТ могут включаться последовательно несколько токовых реле.

В отличие от защит от междуфазных замыканий ТЗНП не требует отстройки от токов нагрузки. В связи с этим ее можно выполнить достаточно чувствительной (ток срабатывания чувствительных ступеней, предназначенных для дальнего резервирования, может быть существенно ниже тока нагрузки).

На повышающих трансформаторах с заземленной нейтралью защита может подключаться к трансформатору тока, включенному в заземляющий проводник нейтрали.

**Задача от замыканий в сетях с изолированной нейтралью.** Замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью, в отличие от сети с глухозаземленной нейтралью, не сопровождаются большими токами, поэтому в большинстве случаев допускается достаточно длительная (часы) работа сети с замыканием на землю.

В сети с изолированной нейтралью по ряду причин селективность защиты от замыканий на землю обеспечить сложно. В связи с тем что сеть с изолированной нейтралью допускает довольно длительные замыкания на землю, чаще защита выполняется с действием на сигнал, и только в тех случаях, когда требуется быстрое отключение при замыканиях на землю по требованиям безопасности или иным причинам, защита выполняется с действием на отключение.

Пример токовой защиты от замыканий на землю с действием на сигнал приведен на рис. 5.10. В этих защитах используются токовые реле специального исполнения.

Аналогично выполняется токовая защита, действующая на отключение.

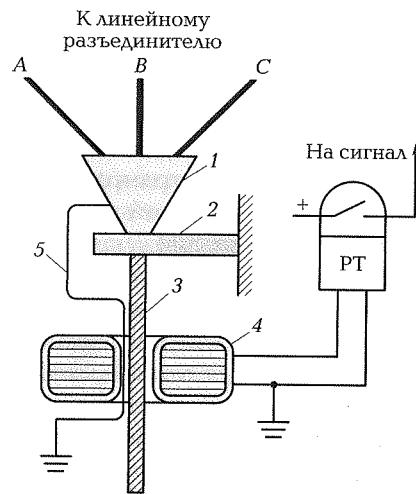


Рис. 5.10. Токовая защита от замыканий на землю:

1 — кабельная воронка; 2 — изолирующая опора; 3 — кабель; 4 — трансформатор тока нулевой последовательности (ТНП); 5 — заземляющий проводник

Если кабельную воронку заземлить выше трансформатора тока, защита будет срабатывать от наведенных токов, которые могут появляться при выполнении сварочных работ, замыканиях на землю линий с глухозаземленной нейтралью вблизи трассы прохождения кабеля и в некоторых других случаях. Для исключения этого заземляющий проводник кабельной воронки пропускается через окно ТНП и подключается к заземляющему контуру ниже его, а сама воронка изолируется от металлоконструкций.

Такая схема имеет ограниченное применение. Во-первых, как упоминалось ранее, в сети с изолированной нейтралью обеспечить селективность защиты от замыканий на землю сложно. Во-вторых, такая защита применима только при наличии кабельных линий или кабельных вставок. Поэтому большее распространение получила защита, основанная на выявлении напряжения нулевой последовательности.

Чаще всего в качестве фильтра нулевой последовательности используются обмотки трансформаторов напряжения, соединенные в разомкнутый треугольник.

**Оперативный ток в схемах релейной защиты.** Оперативным называется ток, обеспечивающий работу логической (иногда и измерительной) части релейной защиты, ее исполнительного и сиг-

нального органов, а также электромагнитов управления коммутационных аппаратов. Очевидно, что надежное функционирование устройства релейной защиты в целом во многом определяется надежностью источников питания и схемы оперативного тока.

Источники оперативного тока должны всегда, в любых аварийных режимах обеспечивать такие значения напряжения и мощности, которые гарантируют надежное действие релейной защиты и электромагнитов управления коммутационных аппаратов.

На подстанциях распределительных сетей могут применяться следующие виды оперативного тока и их источники:

- постоянный — аккумуляторные батареи;
- переменный — измерительные трансформаторы тока (ТТ) и трансформаторы напряжения (ТН), а также трансформаторы собственных нужд (ТСН);
- выпрямленный — блоки питания (токовые (БПТ), напряжения (БПН, БПНС)) и другие выпрямительные устройства;
- ток разряда конденсаторов — предварительно заряженные конденсаторы, собранные в блоки (БК), которые устанавливаются совместно с блоками для заряда конденсаторов (УЗ, БПЗ).

Из всех перечисленных источников оперативного тока самым надежным является аккумуляторная батарея — это автономный источник, обеспечивающий работу устройств защиты, автоматики и управления даже при полном отключении подстанции от питающей электрической сети. К сожалению, промышленность не выпускает достаточно надежных, дешевых и простых в обслуживании аккумуляторных батарей для подстанций распределительных сетей. Аккумуляторные батареи устанавливаются только на электростанциях и крупных районных подстанциях, где защиты всех элементов, в том числе трансформаторов 10 и 6 кВ, выполняются на постоянном оперативном токе.

Источники переменного оперативного тока — измерительные трансформаторы тока и напряжения (ТТ и ТН), а также трансформаторы собственных нужд (ТСН) — могут обеспечить надежное питание устройств релейной защиты только при их совместном использовании. Например, при близких трехфазных КЗ не смогут обеспечить защиту оперативным током ТН и ТСН, так как в этих случаях происходит глубокое, вплоть до нуля, снижение напряжения на подстанции. Но зато ТТ, через первичную обмотку которых проходит основной ток КЗ, могут обеспечить работу и устройств релейной защиты, и электромагнитов управления.

Схемы, в которых измерительные трансформаторы тока используются так же, как источники оперативного тока, называются

схемами с дешунтированием электромагнитов управления. Если же повреждение трансформатора не сопровождается большими токами КЗ, как, например, при витковом замыкании в одной из фаз его обмоток, или вообще не происходит увеличения тока сверх нормального, например при уходе масла из бака трансформатора, то в качестве источников оперативного тока для работы соответствующих устройств защиты могут использоваться ТН или ТСН. Поэтому же принципу строится схема питания устройств защиты выпрямленным оперативным током.

Для защиты трансформаторов 10 кВ выпрямленный ток применяется редко. Также редко используется на подстанциях 10 кВ энергия предварительно заряженных конденсаторов, которая может обеспечить работу устройств защиты и автоматики при полном по гашении подстанции, например при отключении части электродвигателей перед повторной подачей напряжения на подстанцию, чтобы облегчить пуск (само запуск) более ответственных электродвигателей. При необходимости отключения электродвигателей 0,4 кВ при погашениях подстанций 10/0,4 кВ, как правило, используют механическую энергию, запасенную в предварительно сжатых пружинах привода магнитных пускателей или автоматических выключателей. Для освобождения пружины используются так называемые нулевые расцепители, срабатывающие при исчезновении напряжения.

**Постоянный оперативный ток.** Основными источниками постоянного оперативного тока являются аккумуляторные батареи с зарядными устройствами. Стандартными величинами номинальных напряжений постоянного оперативного тока приняты 24, 48, 110 и 220 В.

Для питания устройств релейной защиты и автоматики, управления выключателями, аварийной и предупредительной сигнализации, а также других установок, требующих питания от независимого источника постоянного тока, создается специальная распределительная сеть. Для заряда аккумуляторных батарей используются полупроводниковые или ртутные выпрямители или зарядные агрегаты, состоящие из асинхронного электродвигателя и генератора постоянного тока.

**Переменный оперативный ток.** Источниками переменного оперативного тока для релейной защиты являются в основном трансформаторы тока, а для автоматики и частично для релейной защиты — трансформаторы напряжения и трансформаторы собственных нужд подстанций.

Трансформаторы тока являются самым надежным источником оперативного тока. При питании оперативных цепей от транс-

форматоров тока оперативным током является ток короткого замыкания, проходящий по его вторичной обмотке. Величина этого тока при правильно выбранных параметрах всегда обеспечивает надежное действие защиты и отключение выключателя.

**Схемы соединения вторичных обмоток трансформатора тока.** Трансформаторы тока (ТА) имеют следующую маркировку выводов:

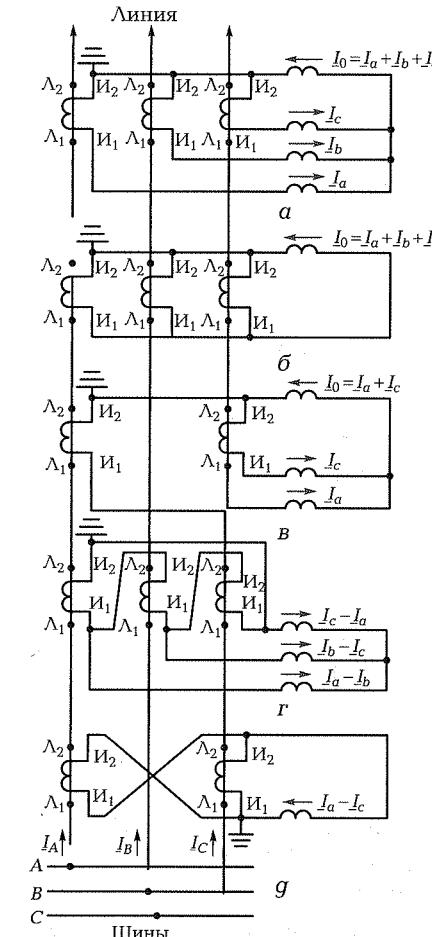


Рис. 5.11. Схемы соединения вторичных обмоток ТА:

*a* — схема соединения в звезду при установке ТА в каждой фазе; *b* — упрощенная схема соединения в звезду; *c* — схема соединения ТА в неполную звезду при установке ТА в двух фазах; *d* — схема соединения ТА в треугольник при установке ТА в трех фазах; *e* — схема соединения ТА на разность токов двух фаз

$\Lambda_1$  и  $\Lambda_2$  — первичные обмотки;  $I_1$  и  $I_2$  — вторичные обмотки. На рис. 5.11 представлены наиболее широко применяемые типовые схемы соединения вторичных цепей трансформаторов тока.

На рис. 5.11, а представлена схема соединения в звезду при установке ТА в каждой фазе. При такой схеме включения в нормальной режиме в нулевом проводе протекает только ток небаланса, обусловленный погрешностями ТА и различием их вольт-амперных характеристик. Появляется ток в нулевом проводе при однофазных коротких замыканиях КЗ, поэтому можно считать, что при данной схеме соединения ТА реле, включенные в нулевой провод, включены на фильтр тока нулевой последовательности.

Схема соединения ТА в звезду наиболее распространена, она широко применяется для защиты от междуфазных и однофазных КЗ для устройств автоматики и измерений. Если реле, установленные в фазных проводах, не используются, то данная схема упрощается и принимает вид схемы, представленной на рис. 5.11, б.

На рис. 5.11, в представлена схема соединения ТА в неполную звезду при установке ТА в двух фазах. Такая схема используется для выполнения защит от междуфазных КЗ в двух- и трехрелейном исполнении, особенно присоединений с изолированной нейтралью; в нулевом проводе в нормальном режиме протекает сумма токов двух фаз.

На рис. 5.11, г приведена схема соединения ТА в треугольник при установке ТА в трех фазах. Схема широко используется для выполнения дифференциальных защит трансформаторов, когда необходимо компенсировать фазовый сдвиг первичных токов при соединении обмоток силового трансформатора «звезда — треугольник»; в фазном проводе протекает разность токов двух фаз.

На рис. 5.11, д приведена схема соединения ТА на разность токов двух фаз, которая используется для выполнения защиты от междуфазных КЗ в однорелейном исполнении.

## 5.2. ЗАЩИТА ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

**Типы устройств релейной защиты трансформаторов.** Для защиты понижающих трансформаторов мощностью 1 МВ · А и более от повреждений и не нормальных режимов предусматриваются следующие основные типы релейной защиты.

*Продольная дифференциальная защита* — от КЗ всех видов в обмотках и на их выводах; применяется на трансформаторах начиная

с мощности 6,3 МВ · А, но может устанавливаться и на трансформаторах меньшей мощности (но не менее 1 МВ · А).

*Токовая отсечка без выдержки времени* — от КЗ всех видов на выводах трансформатора со стороны питания; применяется на трансформаторах, не оборудованных продольной дифференциальной защитой.

*Газовая защита* — от всех видов повреждений внутри бака (кожуха) трансформатора, сопровождающихся выделением газа из трансформаторного масла, а также от понижения уровня масла в баке. В соответствии с ГОСТ 11677—85 газовое реле устанавливается на всех масляных трансформаторах с расширителем начиная с мощности 1 МВ · А, в связи с чем для таких трансформаторов должны быть выполнены и электрические цепи газовой защиты. Для сухих трансформаторов выполняется манометрическая защита.

*Максимальная токовая защита со стороны питания* — от КЗ всех видов на выводах и внутри трансформатора, а также от внешних КЗ, т. е. повреждений на шинах щита НН и на отходящих линиях НН (на случай отказа их собственных защитных и коммутационных аппаратов).

*Специальная токовая защита нулевой последовательности* — от КЗ на землю в сети НН, работающей с глухозаземленной нейтралью.

*Специальная резервная максимальная токовая защита* — от междуфазных КЗ в сети НН.

*Максимальная токовая защита в одной фазе* — от сверхтоков, обусловленных перегрузкой; устанавливается на трансформаторах начиная с мощности 0,4 МВ · А, у которых возможно возникновение пере грузки после отключения параллельно работающего трансформатора или подключения дополнительной нагрузки в результате действия сетевого или местного устройства АВР.

*Защита (сигнализация)* от однофазных замыканий на землю в обмотке или на выводах трансформатора, а также на питающей линии 10 кВ.

Основные защиты (дифференциальная, газовая, токовые максимальные защиты, и в том числе отсечка) действуют на отключение трансформатора как со стороны высшего напряжения (выключателем), так и со стороны низшего напряжения (автоматом). Защита от перегрузки может действовать на сигнал, на разгрузку, а в некоторых случаях на необслуживаемых подстанциях — на отключение трансформатора.

На рис. 5.12 показаны обмотки токовых реле всех перечисленных защит, кроме дифференциальной, а также условно — газовая