

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Методические указания



2004

УДК 621.316.925(076.5)
Р 368

Составили: канд. техн. наук, доц. *В.А. Давыдов*,
канд. техн. наук, доц. *А.И. Щеглов*,
д-р техн. наук, проф. *А.И. Шалин*

Рецензент канд. техн. наук, доц. *И.П. Тимофеев*

Работа подготовлена кафедрой электрических станций

© Новосибирский государственный
технический университет, 2004

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Методические указания

Редактор *Л.Н. Ветчакова*
Технический редактор *Г.Е. Телятникова*
Компьютерная верстка *Г.И. Якименко*

Подписано в печать 05.07..2004. Формат 60 x 84 1/16. Бумага офсетная.

Тираж 200 экз. Уч.-изд. л. 1,75. Печ. л. 2,0. Изд. № 93.

Заказ №

Цена договорная

Отпечатано в типографии

ТРЕХСТУПЕНЧАТАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ЛЭП

1.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Один из признаков возникновения короткого замыкания (КЗ) – увеличение тока в линии. Этот признак используется для выполнения защит, называемых **токовыми**. Токовые защиты приходят в действие при увеличении тока в фазах линии сверх определенного значения.

Комплект трехступенчатой токовой защиты ЛЭП состоит из трех защит:

- 1 ступень – мгновенная токовая отсечка;
- 2 ступень – токовая отсечка с выдержкой времени;
- 3 ступень – максимальная токовая защита.

Рассмотрим принцип действия и выбор уставок каждой из этих защит применительно к комплекту защиты № 1, установленному возле левого конца линии ЛЭП1 и действующему на отключение выключателя Q1 (рис.1). В таких случаях иногда условно говорят, что защита 1 установлена на выключателе Q1.

1.3. МГНОВЕННАЯ ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА (МТО)

Мгновенной токовой отсечкой называется защита, отключающая защищаемый объект без выдержки времени при превышении током, протекающим по объекту, тока срабатывания защиты.

На рис. 1.1 показана схема защищаемой радиальной сети с односторонним питанием. Каждый элемент этой схемы (линия, трансформатор, сборные шины и т.д.) имеет свою защиту. Рассмотрим, например, линию ЛЭП 1. При КЗ в точках K1, K2, K3 по ЛЭП 1 протекает ток, величина которого зависит от расположения точки короткого замыкания, т.е. от расстояния L от места установки защиты до точки КЗ. Кроме того, величина тока КЗ зависит от режима работы питающей системы и вида КЗ. В максимальном режиме, когда в сети включено максимальное количество генераторов, линий связи и другого оборудования и когда вид КЗ способствует протеканию по ЛЭП самого большого тока КЗ – $I_{\text{КЗ max}}$ (например, сверхпереходный ток трехфазного КЗ больше тока двухфазного КЗ), кривая токов КЗ пойдет выше, чем в ми-

нимальном режиме (I_{K3min}) (см. рис. 1.2), в котором часть оборудования системы отключена, и т.д.

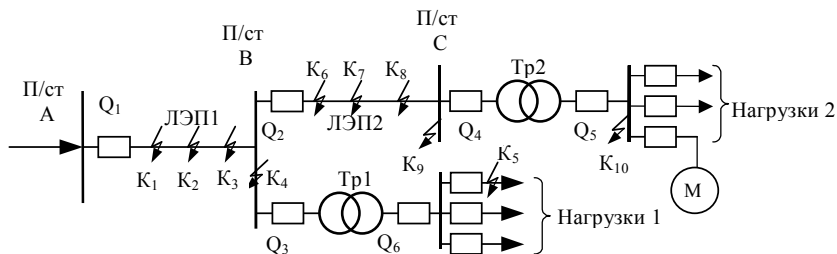


Рис. 1.1. Схема сети

Селективность МТО может быть обеспечена только соответствующим выбором тока срабатывания. Предположим, что необходимо выбрать ток срабатывания мгновенной токовой отсечки, установленной на ЛЭП 1 – I_{C31}^I (здесь нижний индекс указывает номер комплекта защиты, а верхний – номер ступени защиты данного комплекта). Предположим, что на ЛЭП 2 тоже установлена мгновенная токовая отсечка. Тогда, если при КЗ в начале ЛЭП 2 (точка К6 на рис. 1.1) МТО 1 почувствует это КЗ, то она отключит выключатель Q1. Одновременно будет отключен Q2 защитой МТО2, установленной на ЛЭП2. Отключение Q1 при этом произойдет неселективно, так как ЛЭП 1 исправна и могла бы питать потребителей, подключенных через трансформатор Тр1 к шинам подстанции В. Обеспечить селективность в этом случае можно только, ограничив зону действия МТО 1, не разрешая этой защите действовать при КЗ на ЛЭП 2. Этого можно добиться, если выбрать ее ток срабатывания следующим образом:

$$I_{C31}^I = K_n I_{K3 \max 4}, \quad (1.1)$$

где K_n – коэффициент надежности, учитывающий неточность расчетов (неучет влияния апериодической слагающей на величину полного тока КЗ), отклонение уставок защиты (в данном случае тока срабатывания) от расчетных величин и т.д.; $K_n = 1,1 \dots 1,15$ – для цифровых реле; $K_n = 1,2$ – для статических реле типа РСТ; $K_n = 1,3$ – для электромагнитных реле типа РТ-40.

Если выбрать ток срабатывания МТО1 по формуле (1.1), то, как видно из рис. 1.2, ни при каком КЗ на ЛЭП2 или трансформатора

торе Тр1 не будет возникать тока, достаточного для срабатывания МТО1, т.е. рассматриваемая токовая отсечка будет селективной.

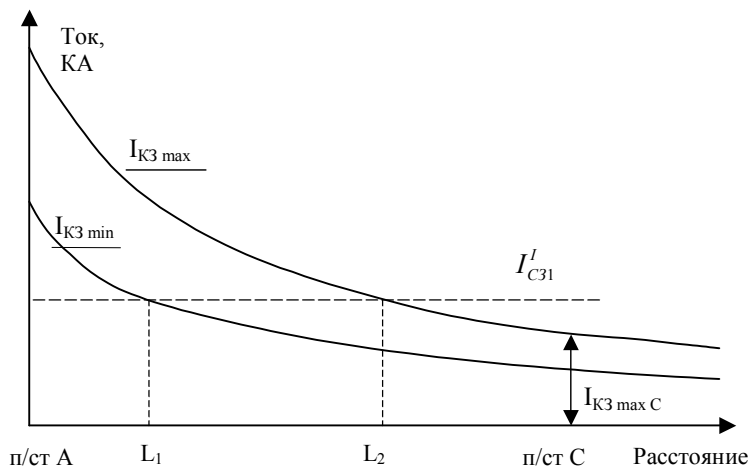


Рис. 1.2. Диаграмма настройки мгновенной токовой отсечки

$I_{K3\max4}$ – максимальный ток (обычно действующее значение периодической слагающей для времени $t = 0$), протекающий в месте установки защиты при КЗ на шинах подстанции В (в точке К4).

После того как обеспечена селективность защиты, следует проверить ее защитоспособность. Защитоспособность МТО характеризуется ее зоной действия, определяемой по пересечению кривой тока КЗ и характеристики тока срабатывания (горизонтальная прямая с ординатой I'_{C31} на рис. 1.2). Если ток КЗ, протекающий по защите, больше ее тока срабатывания, то защита срабатывает, если меньше – не срабатывает. Граница зоны срабатывания соответствует $I'_{C31} = I_{K3}$. В качестве расчетного для определения зоны действия принимается минимальный режим системы. В этом режиме токи КЗ наименьшие, и зона действия защиты минимальна (см. рис. 1.2). Эффективность МТО считается удовлетворительной, если защищаемая зона составляет не менее 10...20 % от длины ЛЭП.

К основным достоинствам мгновенной токовой отсечки относятся ее простота и быстродействие. Основные недостатки: наличие «мертвой зоны» в конце линии, где защита не чувствует ко-

роткие замыкания, зависимость длины защищаемой зоны от вида КЗ, режима работы системы и крутизны спада тока КЗ.

1.4. ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА С ВЫДЕРЖКОЙ ВРЕМЕНИ (ТОВВ)

Токовая отсечка с выдержкой времени дополняет мгновенную токовую отсечку и обеспечивает защиту от КЗ в конце линии, где МТО имеет мертвую зону. Для обеспечения селективности действия токовой отсечки с выдержкой времени делают следующее:

а) защита действует на отключение с выдержкой времени (эта выдержка времени для всех ТОВВ в сети обычно равна ступени селективности – наименьшей выдержке времени, надежно обеспечивающей селективное действие защиты, обычно равной 0,3...0,6 с; более подробно о ступени селективности сказано в следующем разделе);

б) выбирают соответствующим образом ток срабатывания.

Рассмотрим подробно второй пункт. Для определения тока срабатывания ТОВВ 1, установленной на ЛЭП1, необходимо знать, какие защиты установлены на элементах силовой схемы, питающихся от шин подстанции В, т.е. ЛЭП 2 и Тр1. Предположим, нам известно, что комплект защиты, установленный на ЛЭП2 также имеет в своем составе МТО2 и ТОВВ 2 (причем, выдержки времени ТОВВ 1 и ТОВВ 2 одинаковы), а для защиты трансформатора Тр1 используется продольная дифференциальная токовая защита, отключающая Тр1 без выдержки времени при КЗ в трансформаторе и на его выводах.

В этом случае очевидно, что ток срабатывания ТОВВ $I - I_{\text{сз1}}^{\text{II}}$ можно принять меньше, чем $I_{\text{КЗ}}$ в точке К6 (в самом начале ЛЭП2), и меньше, чем ток при КЗ на выводах трансформатора Тр1, присоединенных к сборным шинам подстанции В. Действительно, даже если ТОВВ1 будет чувствовать эти КЗ, то к неселективному отключению ЛЭП 1 это привести не сможет, так как при указанных КЗ подействуют свои мгновенные защиты и отключат соответственно Q2 и Q3. ТОВВ 1 подействовать не успеет из-за имеющейся у нее выдержки времени.

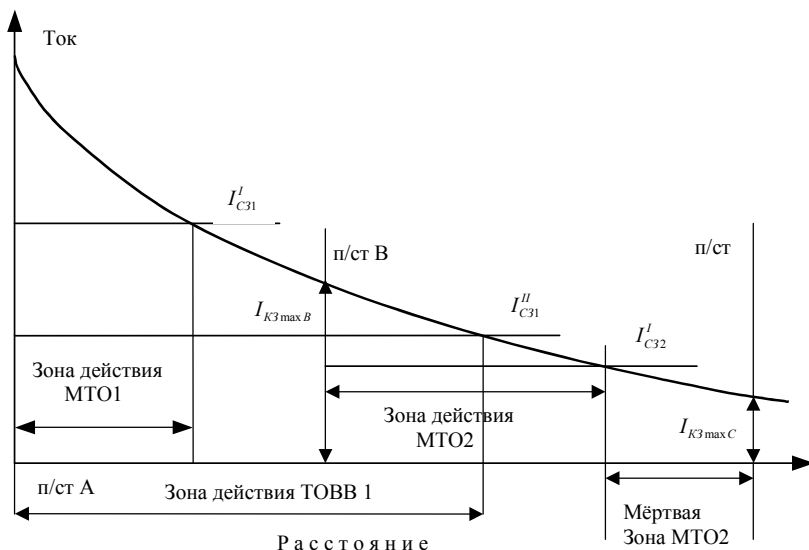


Рис. 1.3. Диаграмма настройки токовой отсечки с выдержкой времени

Снижать ток срабатывания I_{C31}^{II} полезно, так как это повышает чувствительность ТОВВ. Вопрос в том, до какого уровня можно снизить этот ток, не опасаясь неселективного действия защиты. Рассмотрим, как будут вести себя комплекты защит, установленные на ЛЭП1 и ЛЭП2 при перемещении точки КЗ по линии ЛЭП2. На рис. 1.3 показано, как меняется при этом ток КЗ, протекающий по линиям. Здесь же произведен выбор тока срабатывания мгновенных отсечек МТО 1 и МТО 2 в соответствии с тем, как это было описано в предыдущем разделе. Из рис. 1.3 видно, что ТОВВ 1 будет действовать неселективно, если ее ток срабатывания станет ниже, чем ток срабатывания МТО 2. В этом случае ТОВВ 1 будет чувствовать КЗ в «мертвой зоне» МТО 2. Если же ТОВВ 1 будет чувствовать эти КЗ, а МТО 2 – нет (так как они находятся в «мертвой зоне» для МТО 2), то при таких КЗ на отключение одновременно подействуют ТОВВ 1 (эта защита отключит $Q1$) и ТОВВ 2 (она отключит $Q2$). Ясно, что $Q1$ отключит ЛЭП1 неселективно. Такое неселективное действие защиты будет исключено, если выбрать ее ток срабатывания следующим образом:

$$I_{C31}^{\text{II}} \geq K_{\text{н}} I_{C32}^{\text{I}}, \quad (1.2)$$

где $K_{\text{н}} = 1,1$ (значение коэффициента надежности для этого случая, как показывает опыт эксплуатации, можно взять меньше, чем для предыдущего).

Если выбрать ток срабатывания ТОВВ 1 в соответствии с формулой (1.2), то зона действия этой защиты всегда будет кончатся раньше, чем зона действия МТО 2 (рис. 1.3), и селективное действие защит при любых КЗ на ЛЭП 2 будет обеспечено.

Рассмотрим, как будут взаимодействовать защиты при КЗ на трансформаторе Тр1. Ясно, что при наличии мгновенно действующей защиты на Тр1 неселективного действия ТОВВ 1 при КЗ на Тр1 не будет. Хуже дело обстоит, например, при КЗ в точке К5 на одном из присоединений, питающихся от трансформатора Тр1. Эти присоединения, как правило, имеют защиты, действующие с выдержкой времени, и, если ТОВВ 1 будет чувствовать КЗ в точке К5, может произойти неселективное отключение ЛЭП1 в этом режиме. Для того чтобы исключить действие ТОВВ 1 при КЗ в точке К5, ее ток срабатывания должен удовлетворять следующей условию:

$$I_{C31}^{\text{II}} \geq K_{\text{н}} I_{K3\max 5}, \quad (1.3)$$

где $K_{\text{н}} = 1,2$; $I_{K3\max 5}$ – максимальный ток КЗ, протекающий по ЛЭП1, при КЗ за трансформатором.

Окончательно в качестве тока срабатывания ТОВВ1 принимают больший из токов, рассчитанных по условиям (1.2) и (1.3). Поскольку от шин подстанции С не питается никаких присоединений кроме трансформатора Тр2, то ток срабатывания ТОВВ2 следует выбирать только по условию (1.3), но при КЗ за Тр2.

Так как токовая отсечка с выдержкой времени предназначена для действия, в основном, при КЗ в пределах «мертвой зоны» мгновенной токовой отсечки, то ее чувствительность проверяется при КЗ в конце этой «мертвой зоны», т.е. практически при КЗ на шинах подстанции, питающейся от защищаемой линии.

Коэффициент чувствительности ТОВВ, который должен быть не ниже 1,3, подсчитывается следующим образом:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{KB\min}}{I_{C3}^{\text{II}}} \quad (1.4)$$

Здесь $I_{K3\min}$ – минимальный ток, протекающий по защите при КЗ на шинах подстанции, питающейся от защищаемой линии.

Если $K_{\text{ч}}$ окажется меньше 1,3, то можно увеличить выдержку времени рассматриваемой ТОВВ1 до двух ступеней селективности и отстроиться таким образом от ТОВВ следующего участка (в нашем случае от ТОВВ 2). Тогда можно отказаться от выбора тока срабатывания ТОВВ по условию (1.2). Но этот прием эффективен лишь в случае, если расчетным при выборе тока срабатывания оказалось условие (1.2).

Аналогично поступают с выдержкой времени ТОВВ, если на следующем участке (ЛЭП 2, например) по какой-либо причине отсутствует МТО, и обеспечить селективность ТОВВ 1 при прежней выдержке времени не представляется возможным.

1.5. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА (МТЗ)

Третьей ступенью трехступенчатой токовой защиты является максимальная токовая защита, предназначенная для ближнего и дальнего резервирования. Под ближним резервированием понимают действие этой защиты на отключение при отказе первой и второй ступеней своего комплекта защиты, если КЗ произошло на защищаемой линии. Если КЗ произошло в точке К1, а МТО и ТОВВ1 не сработали (например, из-за повреждений в их цепях), то МТЗ1, срабатывая, отключит $Q1$ и резервирует тем самым отказавшие защиты. При КЗ в точке К4 МТО1 не срабатывает по своему принципу действия и на отключение ЛЭП1 должна действовать ТОВВ1. При ее отказе действует МТЗ1, это тоже случай ближнего резервирования.

К дальнему резервированию относится, например, действие МТЗ1 на отключение $Q1$ при КЗ в точке К6 в том случае, если отказал весь второй комплект защиты или по какой-то причине не отключился выключатель $Q2$. Такие отказы случаются иногда на практике, например, из-за повреждения механической части выключателя, ошибок персонала (например, был снят предохранитель в цепи соленоида отключения $Q2$ во время работ на выключателе, а потом его забыли поставить на место) и т.д. Ближнее и дальнее резервирование защит повышает надежность как самой релейной защиты, так и электрической системы в целом. Для того чтобы обеспечить дальнее резервирование, МТЗ должна иметь достаточно высокую чувствительность при КЗ не только на защищаемом, но и на последующем элементе, т.е. МТЗ 1 должна иметь высокую чувствительность при КЗ не только на ЛЭП1, но и на ЛЭП2 и Тр1, а МТЗ2 - при КЗ на ЛЭП2 и Тр2. По этой причине

ее ток срабатывания отстраивается не от токов в режимах КЗ, как это делалось для отсеков, а от токов нормальных режимов, которые по величине гораздо меньше токов КЗ. Это позволяет сделать МТЗ гораздо чувствительнее отсеков. Селективность же максимальной токовой защиты обеспечивается соответствующим выбором ее выдержки времени.

Выдержка времени максимальных токовых защит нарастает по мере приближения к источнику питания. Предположим, нам известно, что выдержки времени МТЗ, установленных на потребителях нагрузки 2 (рис. 1.1), равны соответственно 0,5 с, 1 с и 1 с; на потребителях, питающихся непосредственно от шин подстанции С – 2 с, на потребителях нагрузки 1 – 0,5 с, 1,5 с, 2 с. Выберем выдержки времени МТЗ комплектов 1, 2, 3, 4.

Для этого необходимо предварительно рассмотреть понятие ступени селективности. Применительно к МТЗ ступень селективности – это минимальная разность в выдержках времени защит смежных участков, при которой обеспечивается селективность действия этих защит.

Рассмотрим взаимодействие, например, комплектов 1-й и 2-й защит. Для того чтобы защита 1 в любом случае срабатывала не раньше, чем защита 2, ее выдержка времени должна быть больше выдержки времени защиты 2, по крайней мере, на ступень селективности, равную

$$\Delta t = t_{n(2)} + t_{n(1)} + t_{Q3} + t_{\text{зап}}, \quad (1.5)$$

где $t_{n(2)}$ – погрешность в сторону замедления реле времени защиты 2; $t_{n(1)}$ – погрешность в сторону уменьшения выдержки времени защиты 1; t_{Q3} – время отключения выключателя $Q3$ с момента подачи импульса в катушку отключения до разрыва тока КЗ контактами выключателя; $t_{\text{зап}}$ – время запаса.

Для применяемых в эксплуатации реле и выключателей $\Delta t = (0,3 \dots 0,6)$ с.

С учетом указанного, выберем выдержку времени МТЗ, установленной в цепи Тр2 на ступень селективности (примем $\Delta t = 0,5$ с) больше самой большой из выдержек времени защит, установленных на потребителях нагрузки 2: $t_{\text{тр2}} = 1 + 0,5 = 1,5$ с. Выдержка времени МТЗ комплекта 2 отстраивается, таким образом, от вычисленной выше $t_{\text{тр2}}$ и от выдержки времени защиты, установленной на потребителе, питающемся от шин подстанции С, которая равна 2 с. Следовательно, $t_2 = 2 + 0,5 = 2,5$ с. Полагая, что на трансформаторе Тр1 также установлена МТЗ, выберем ее выдержку времени из условия отстройки от защит, установлен-

ных на потребителях нагрузки 1: $t_4 = 2 + 0,5 = 2,5$ с. Тогда $t_1 = 2,5 + 0,5 = 3,0$ с.

Теперь КЗ на каждом последующем элементе (например, ЛЭП 2) будет отключаться защитой предыдущего элемента (например, МТЗ 1) только в том случае, если защита последующего элемента отказала в действии или отказал выключатель. Если же, например, МТЗ 2 исправна, то она успевает отключить Q_2 и разорвать цепь тока КЗ еще до того, как МТЗ 1 могла бы подействовать на отключение Q_1 . После отключения Q_2 ток в сети уменьшается и защита МТЗ 2 уже не работает.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты определяется следующим образом (на примере МТЗ 1):

$$I_{C31}^{III} \geq \frac{K_H}{K_B} I_{сам} = \frac{K_H K_{C3}}{K_B} I_{раб. max}, \quad (1.6)$$

$$I_{C31}^{III} \geq K_H I_{сам. апв} = K_H K_{сз. апв} I_{раб. max}, \quad (1.7)$$

$$I_{C31}^{III} \geq K_{HC} \left[I_{C32}^{III} + \sum_1^{N-1} I_{раб. max(N-1)} \right], \quad (1.8)$$

где K_H – коэффициент надежности; K_B – коэффициент возврата токовых реле; K_{HC} – коэффициент надежности согласования; $K_H = 1,1$ и $K_B = 0,96$ – для цифровых реле; $K_H = 1,15$ и $K_B = 0,9$ – для статических реле типа РСТ; $K_H = 1,2$ и $K_B = 0,8$ – для электро-механических реле типа РТ-80 или РТ-40; $K_{HC} = 1,1$ – для всех ти-

пов реле; $\sum_1^{N-1} I_{раб. max(N-1)}$ – сумма максимальных значений рабочих токов всех смежных элементов (N) за исключением того, с защитой которого производится согласование; $I_{сам}$ – ток, протекающий по защищаемой ЛЭП при самозапуске электродвигателей, после отключения КЗ на последующих участках сети; $I_{раб. max}$ – максимальный рабочий ток защищаемой ЛЭП (без учета самозапуска двигателя); $K_{C3} = \frac{I_{сам}}{I_{раб. max}}$ – коэффициент самозапуска;

$I_{сам. апв}$ – ток, протекающий по защищаемой ЛЭП в процессе самозапуска электродвигателей при автоматическом повторном включении защищаемой ЛЭП; $K_{сз. АПВ} = \frac{I_{сам. АПВ}}{I_{раб. max}}$ (если $I_{сам. АПВ}$ неизвестен, то $K_{сз. АПВ}$ принимается равным 4–5); I_{C31}^{III} , I_{C32}^{III} – ток

срабатывания МТЗ 1 и МТЗ последующих защит (МТЗ 2, например) соответственно.

Рассмотрим подробнее расчетные выражения (1.6), (1.7), (1.8). Каждое из этих выражений соответствует своему расчетному режиму, в котором необходимо обеспечить правильное действие защиты.

Предположим, что в начале ЛЭП 2 произошло КЗ. При этом срабатывают токовые реле как МТЗ 2, так и МТЗ 1, и эти защиты начинают отсчитывать свои выдержки времени. При возникновении КЗ напряжение на шинах подстанции В резко снизилось и электродвигатели, питающиеся от этой подстанции (например, через Тр1), стали тормозиться. После того, как истекла выдержка времени второго комплекта защиты, он отключил Q_2 , напряжение на шинах В восстановилось, и затормозившиеся электродвигатели стали потреблять повышенный ток, увеличивая свою скорость до номинальной. При этом токовые реле МТЗ 1 должны вернуться в исходное состояние, иначе по истечении своей выдержки времени МТЗ 1 неселективно отключит Q_1 . Для того чтобы токовые реле МТЗ 1 надежно возвращались в рассматриваемом режиме, необходимо обеспечить выполнение следующего условия:

$$I_{\text{в031}}^{\text{III}} \geq K_{\text{н}} I_{\text{САМ}}, \quad (1.9)$$

где $I_{\text{в031}}^{\text{III}}$ – ток возврата МТЗ 1 в исходное состояние.

Учитывая, что

$$I_{\text{в031}}^{\text{III}} = K_{\text{в}} I_{\text{сз}}^3, \quad (10)$$

подставим (1.10) в (1.9) и, поделив обе части получившегося уравнения на $K_{\text{в}}$, получаем (1.6).

Рассмотрим режим, соответствующий выражению (1.7). В этом случае предполагается, что КЗ произошло на ЛЭП 1, и эта линия была отключена своей защитой. Опыт эксплуатации показал, что в большом числе случаев возникшие на ЛЭП повреждения самоустраняются во время бестоковой паузы, т.е. пока ЛЭП отключена. Через некоторое время (обычно составляющее доли секунды) такую ЛЭП можно снова включить под напряжение с помощью автоматики повторного включения (АПВ) и она будет обеспечивать нормальное снабжение потребителей электрической энергии.

За время действия релейной защиты и автоматики электродвигатели успевают затормозиться в большей степени, чем это было в описанном выше режиме, и после повторного включения

ЛЭП потребляет больший ток самозапуска $I_{\text{сам.АПВ}} > I_{\text{сам}}$. Поскольку при отключении ЛЭП 1 ее защита автоматически возвращается в исходное состояние (так как ток в цепи становился равным нулю), возврата токовых реле в рассматриваемом случае не требуется, требуется только, чтобы МТЗ 1 не срабатывала при протекании по ЛЭП 1 тока $I_{\text{сам.АПВ}}$, что и обеспечивается условием (1.7).

Условие (1.8) согласовывает защиты смежных участков по чувствительности. Если при каком-либо удаленном КЗ в сети МТЗ 2 не чувствует этого КЗ, то его не должна чувствовать и МТЗ 1, т.е. ток срабатывания МТЗ 1 должен быть больше, чем ток срабатывания МТЗ 2, иначе МТЗ 1 подействует неселективно.

Из трех рассчитанных по формулам (1.6), (1.7), (1.8) токов в дальнейших расчетах принимают больший, так как он обеспечивает селективность защиты во всех описанных режимах.

Для проверки чувствительности защиты определяется коэффициент чувствительности

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ min}}}{I_{\text{сз}}^{\text{III}}}, \quad (1.11)$$

где $I_{\text{КЗ min}}$ – минимальный ток КЗ, протекающий в месте установки защиты при КЗ в расчетной точке.

Ранее уже отмечалось, что МТЗ выполняет резервные функции:

а) по отношению к предыдущим ступням защиты своего комплекта при КЗ на защищаемой линии;

б) по отношению к защитами и выключателям следующих участков сети – при КЗ на соответствующих элементах сети.

В соответствии с этим коэффициент чувствительности подсчитывается для обеих указанных выше групп режимов:

а) при КЗ в конце защищаемой ЛЭП (например, в точке К4 для МТЗ 1) в минимальном режиме, при этом $K_{\text{ч}}$ должен быть не менее 1,5;

б) при КЗ в конце смежных элементов сети (в конце ЛЭП 2 – точка К9 и за трансформатором Тр1 – точка К5), при этом $K_{\text{ч}}$ должен быть не менее 1,2.

Если коэффициент чувствительности хотя бы в одном из расчетных режимов оказался меньше допустимого, то следует применить защиты, технически более совершенные, чем МТЗ, например, дистанционную защиту.

Для нормального функционирования защиты необходимо правильно выставить уставки на реле. Уставками в рассматриваемой защите является время срабатывания соответствующих ступеней (эти уставки рассчитываются в соответствии с ранее описанными и выставляются на реле времени) и ток срабатывания реле каждой ступени (выставляется на соответствующих реле тока).

Ток срабатывания реле $I_{\text{ср}}$ определяется следующим образом:

$$I_{\text{ср}} = I_{\text{сз}} \frac{K_{\text{сх}}}{K_I}, \quad (1.12)$$

где $K_{\text{сх}}$ – коэффициент схемы, равный отношению тока в реле к току во вторичной обмотке соответствующего трансформатора тока (для схемы соединения трансформаторов тока в полную или неполную звезду $K_{\text{сх}} = 1$); K_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока защиты.

1.6. ДИАГРАММА СЕЛЕКТИВНОСТИ ТРЕХСТУПЕНЧАТОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ

На диаграмме селективности трехступенчатой токовой защиты (рис. 1.4) по оси абсцисс условно отложены элементы защищаемой сети, а по оси ординат – выдержки времени соответствующих защит. Например, при КЗ в начале ЛЭП 1 должна сработать МТО 1 и отключить ЛЭП 1 практически без выдержки времени. При КЗ в конце ЛЭП 1 срабатывает ТОВВ 1 и отключает ЛЭП 1 с выдержкой времени, равной ступени селективности. ТОВВ 1 может работать и при КЗ в начале ЛЭП 2, если это КЗ не отключится своей защитой: из диаграммы селективности видно, что при КЗ в начале ЛЭП 2 основной защитой является МТО 2, так как она имеет меньшую выдержку времени. Из рис. 1.4 видно, что выдержка времени МТЗ 1 отстраивается от выдержек времени МТЗ, установленных на Тр1 и МТЗ 2, а МТЗ 2, в свою очередь, отстраивается от выдержки времени защиты, установленной на Тр2.

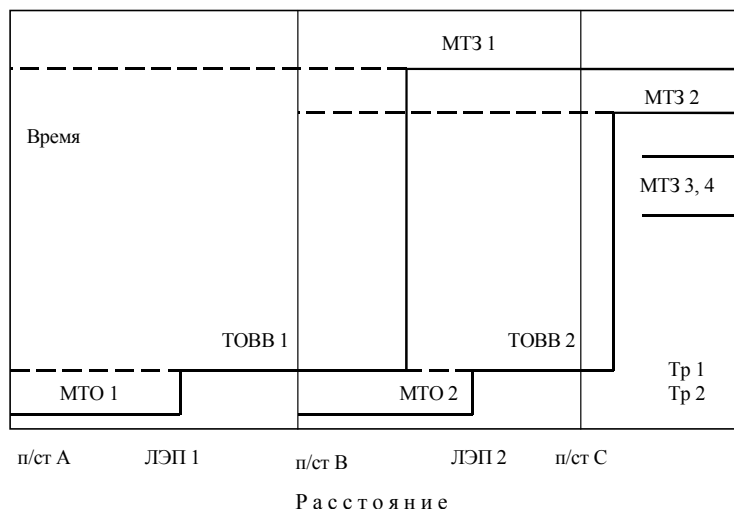


Рис. 1.4. Диаграмма селективности трёхступенчатой токовой защиты

Диаграммы выдержек времени соответствующих ступеней одного и того же комплекта защиты объединены на диаграмме селективности в одну сплошную линию для удобства анализа поведения защит. При этом каждое скачкообразное увеличение выдержек времени на характеристике соответствует концу зоны действия предыдущей ступени и началу следующей ступени защиты данного комплекта. Поскольку, как ранее указывалось, при изменении режима работы схемы от максимального к минимальному зона действия ступеней защиты сокращается, то соответствующие скачки выдержек времени на диаграмме селективности перемещаются справа налево, однако, например характеристика выдержек времени первого комплекта защиты ни в коем случае не должна пересекаться с аналогичной характеристикой второго комплекта защиты, иначе возможно неселективное действие этих защит.

1.7. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ЗАЩИТЫ

На рис. 1.5 приведена одна из возможных схем одного комплекта трехступенчатой токовой защиты ЛЭП. Трансформаторы тока собраны по схеме неполная звезда (см. рис. 1.5,а).

МТО выполнена на реле КА1 и КА2, ТОВВ – на реле КА3 и КА4, а МТЗ – на реле КА5 и КА6. Цепи оперативного тока (см. рис. 1.5,б) всегда приводят при обесточенном состоянии реле, т.е. при отключенном выключателе линии.

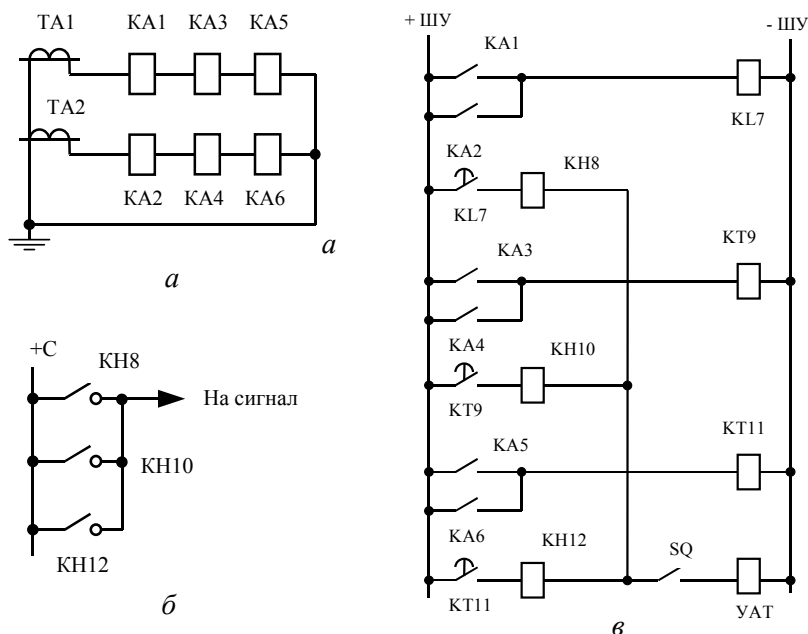


Рис. 1.5. Принципиальная схема трехступенчатой токовой защиты: а – цепи переменного тока; б – цепи оперативного тока; в – цепи сигнализации

При появлении КЗ в пределах зоны действия первой ступени защиты (МТО) срабатывают реле КА1, КА2 (или одно из них в зависимости от вида КЗ и сочетания поврежденных фаз) и своими контактами запитывают обмотку промежуточного реле КЛ. Реле КЛ имеет небольшую задержку на срабатывание ($t' \leq 0,1$ с), необходимую для отстройки защиты от искусственных кратковременных КЗ, создаваемых ограничителями перенапряжений или трубчатыми разрядниками, устанавливаемыми на воздушных линиях без молниезащитных тросов от атмосферных перенапряжений, а также для уменьшения тока срабатывания. Реле КЛ запитывает

электромагнит отключения своего выключателя по цепи: +ШУ, контакты KL, блок-контакты выключателя SQ, электромагнит отключения УАТ, – ШУ. Блок-контакты SQ замкнуты при включенном положении выключателя и размыкаются незадолго до завершения операции его отключения, разрывая цепь УАТ раньше, чем обесточатся реле тока. Такая регулировка блок-контактов SQ выключателя предотвращает подгорание и быстрый выход из строя контактов промежуточного реле KL. Действие первой ступени защиты регистрируется указательным реле КН1.

Если КЗ произошло в конце защищаемой линии (в зоне действия ТОВВ), то срабатывают реле тока КА3 и КА4 и своими контактами запитывают реле времени КТ1, которое обеспечивает выдержку времени второй ступени защиты. После срабатывания реле КТ1 его контакты через указательное реле второй ступени КН2 запитывают промежуточное реле KL. Контакты KL замыкают цепь питания электромагнита отключения УАТ.

Если КЗ произошло в зоне действия МТЗ, то срабатывают реле тока КА5, КА6. При этом получает питание реле времени КТ2, которое обеспечивает необходимую выдержку времени третьей ступени защиты. После срабатывания реле КТ2 его контакты через обмотку указательного реле КН3 запитывают реле KL, контакты которого замыкают цепь питания электромагнита отключения выключателя. Указательное реле КН3, так же как КН1 и КН2, фиксирует срабатывание своей ступени защиты выпадением сигнального флажка на самом реле и через свои контакты выдает сигнал о срабатывании защиты.