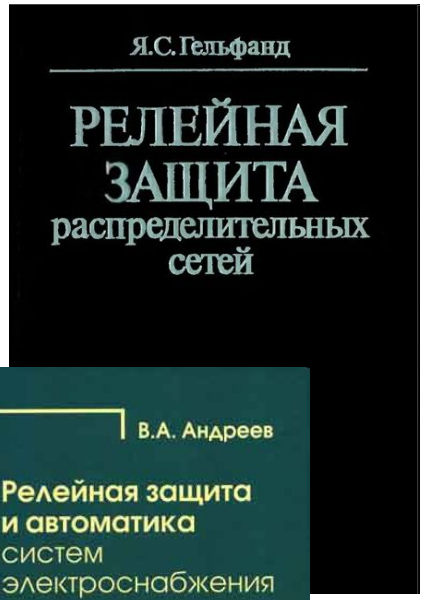
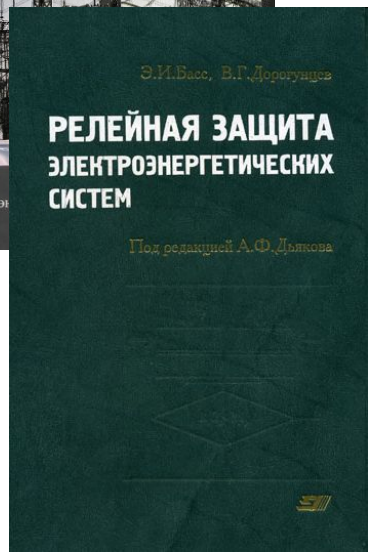
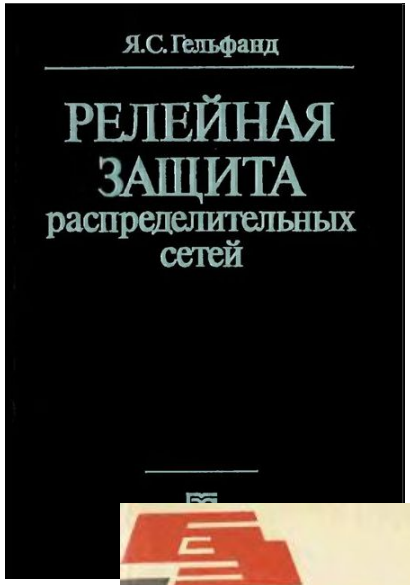
Релейная защита электроэнергетических систем

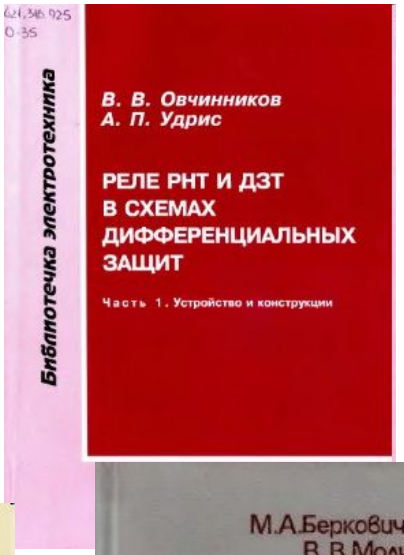


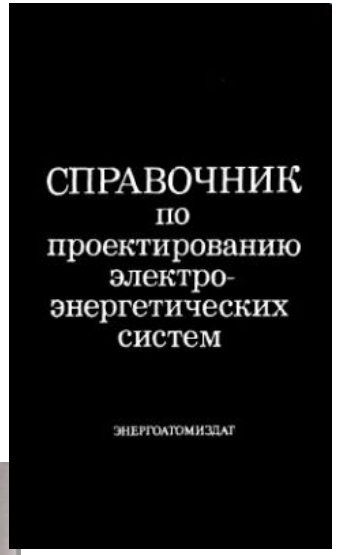


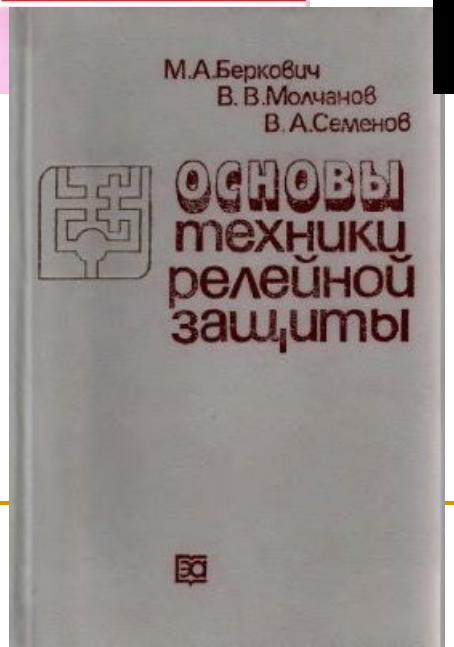
Лекция 8

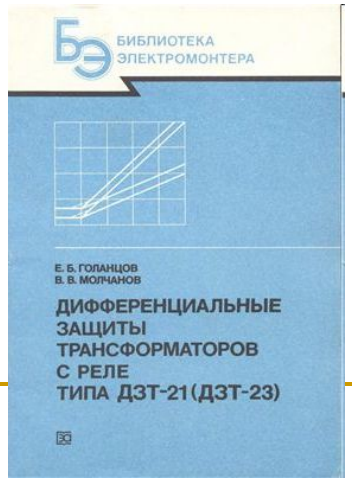
Релейная защита электроэнергетических систем











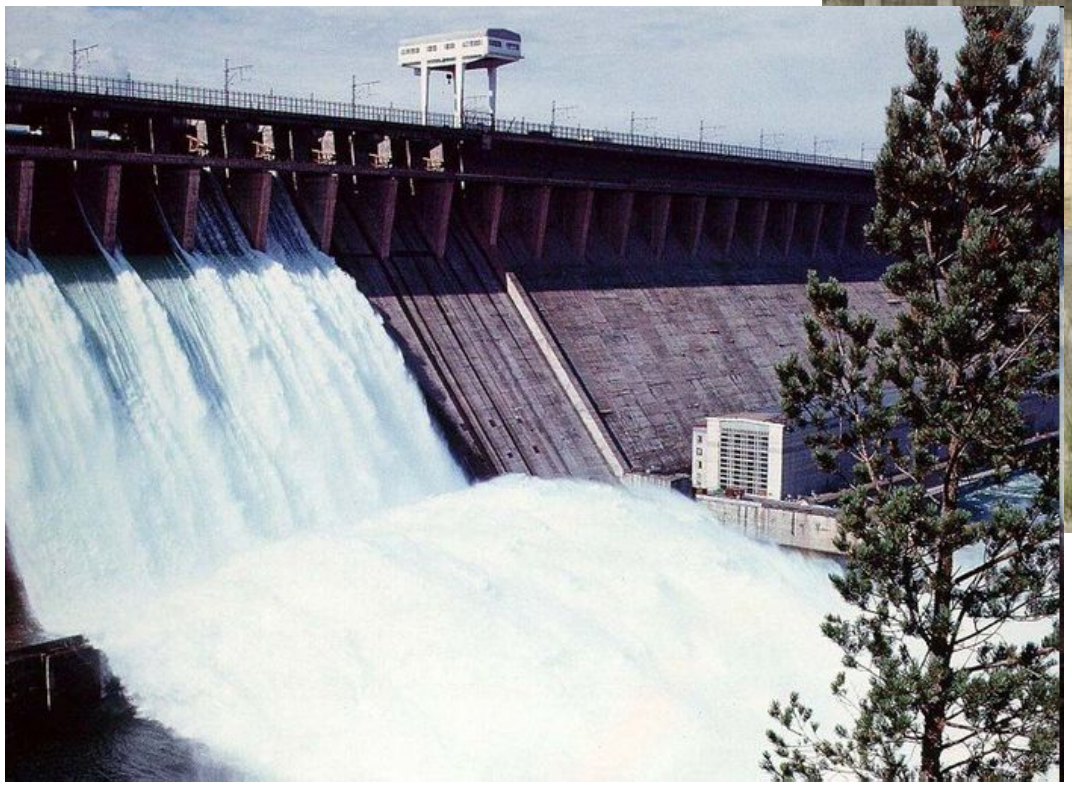
Тепловая электрическая станция

Атомная электрическая станция

Турбогенератор Запорожской АЭС

Гидроэлектростанция

Гидроэлектростанции



ОТКРЫТОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

ОТКРЫТОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

ОТКРЫТОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

Повреждения на подстанциях

Повреждения на подстанциях

Шкафы микропроцессорных защит ООО «НПП ЭКРА»

Шкафы микропроцессорных защит ООО «НПП ЭКРА»

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

20.1. НАЗНАЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ ШИН

Повреждения на шинах подстанций электрических сетей и электростанций высокого и сверхвысокого напряжений могут быть отключены резервными РЗ, установленными на противоположной стороне элементов, подключенных к этим шинам (рис. 20.1). Однако резервные РЗ в подобных случаях работают со значительными выдержками времени $t_{рез.з}$ и не всегда обеспечивают селективное отключение поврежденных шин. В то же время КЗ на шинах по условиям устойчивости энергосистемы и работы потребителей требуют быстрого отключения. Характерным примером неселективного действия резервных РЗ ЛЭП может служить подстанция с двумя выключателями на каждом присоединении (рис. 20.1). При КЗ, например, на первой (*I*) системе шин (СШ) РЗ *1* и *2* отключают соответственно выключатели *Q1* и *Q2*, лишая питания обе СШ (*I* и *II*), хотя при данной схеме соединений имеется возможность сохранить в работе всю подстанцию, отключив только выключатели *Q3* и *Q4*. Такая ликвидация повреждения может быть обеспечена только с помощью специальной РЗ шин.

Для прекращения КЗ на шинах их РЗ должна действовать на отключение всех присоединений, питающих шины. В связи с

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

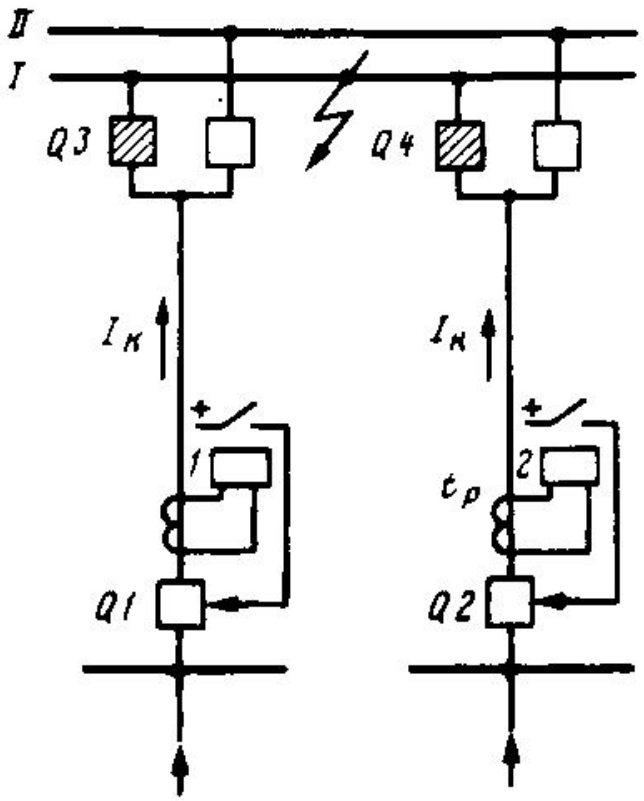


Рис. 20.1. Схема подстанции с двумя выключателями на каждом присоединении. Выключатели, отключаемые защитой при КЗ на первой (*I*) системе шин, заштрихованы

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

этим специальные РЗ шин приобретают особую ответственность, так как их неправильное действие приводит к отключению целой электростанции или подстанции либо их секций. Поэтому принцип действия РЗ шин и их практическое выполнение (монтаж) должны отличаться повышенной надежностью, исключающей возможность их ложного срабатывания.

В качестве быстродействующей и селективной РЗ шин получила распространение защита, основанная на дифференциальном принципе.

20.2. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ШИН

Дифференциальная РЗ шин (ДЗШ) (рис. 20.2) основывается на том же принципе, что и рассмотренные ранее дифференциальные РЗ ЛЭП, трансформаторов и генераторов, т. е. на сравнении *значений и фаз токов, приходящих к защищаемому элементу* (в данном случае к шинам ПС) и *уходящих от него*. Для питания ДЗШ на всех присоединениях устанавливаются ТТ с одинаковым коэффициентом трансформации K_I (независимо от мощности присоединения).

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

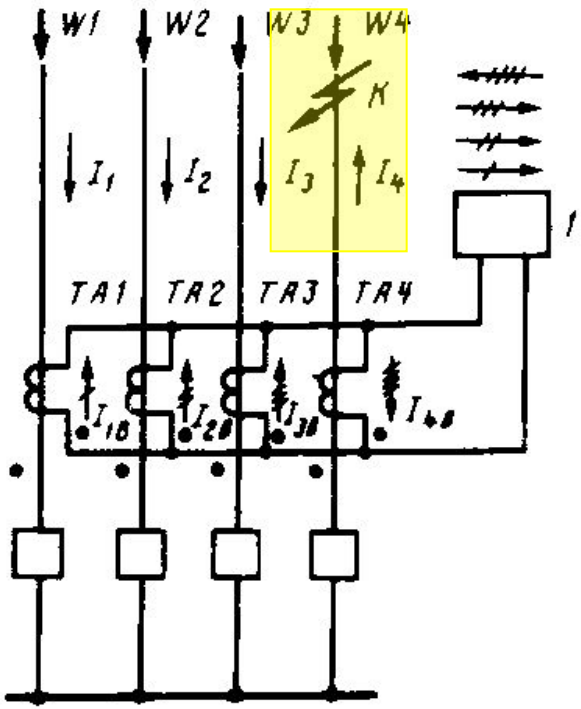
Дифференциальное реле *1* подключается к ТТ всех присоединений, так чтобы при первичных токах, направленных к шинам, в нем проходил ток, равный сумме токов всех присоединений, т. е. $\underline{I}_р = \Sigma \underline{I}_{пр}$. Тогда при внешних КЗ $\Sigma \underline{I}_{пр} = 0$ и реле не будет действовать, а при КЗ в зоне (на шинах) $\Sigma \underline{I}_{пр}$ равна сумме токов КЗ, притекающих к месту повреждения, и ДЗШ работает. Первичные обмотки всех ТТ подключаются к шинам одноименными зажимами; все вторичные обмотки ТТ соединяются параллельно одноименной полярностью, и к ним подключается реле *1*.

При внешнем КЗ (точка *К* на рис. 20.2) ток КЗ I_4, идущий от шин к месту КЗ по поврежденной ЛЭП *W4*, равен сумме токов, притекающих к шинам от источников питания (по линиям *W1, W2, W3*):

$$\underline{I}_4 = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3. \qquad (20.1)$$

Из токораспределения, показанного на рис. 20.2, видно, что вторичные токи $\underline{I}_{1в}$, $\underline{I}_{2в}$ и $\underline{I}_{3в}$, соответствующие первичным токам, притекающим к шинам, направлены в обмотке реле противоположно вторичному току $\underline{I}_{4в}$ (первичный ток которого

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН



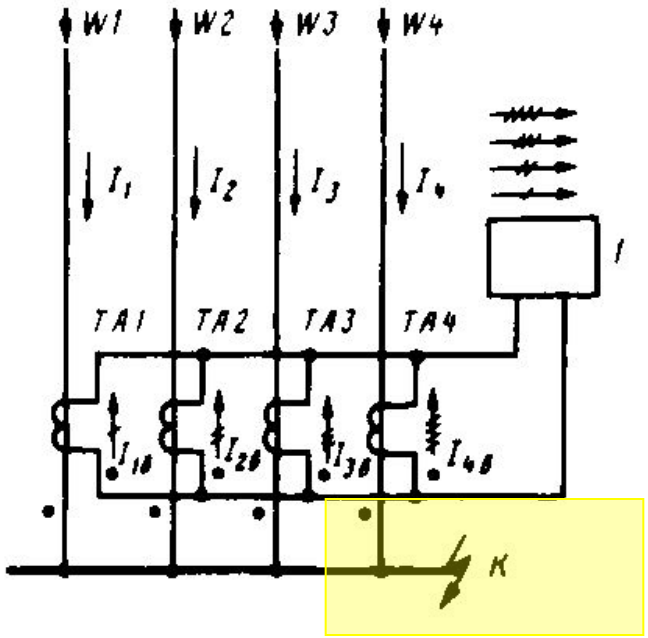


Рис. 20.2. Токораспределение во вторичных цепях дифференциальной защиты шин при внешних КЗ

Рис. 20.3. Токораспределение во вторичных цепях дифференциальной защиты при КЗ на шинах

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

утекает от шин). Ток в реле

$$\underline{I}_р = (\underline{I}_{1в} + \underline{I}_{2в} + \underline{I}_{3в}) - \underline{I}_{4в}. \qquad (20.2)$$

Выражая вторичные токи через первичные и учитывая равенство (20.1), получаем, что ток

$$I_р = I_1/K_I + I_2/K_I + I_3/K_I - I_4/K_I = 0.$$

Следовательно, если пренебречь погрешностями ТТ, то при внешних КЗ ток в реле отсутствует. С учетом токов намагничивания вторичные токи ТТ

$$\underline{I}_{1в} = \underline{I}_1/K_I - \underline{I}_{нам1}; \ \underline{I}_{2в} = \underline{I}_2/I_I - \underline{I}_{нам2} \text{ и т. д.}$$

Подставив эти значения вторичных токов в выражение (20.2), получим

$$\underline{I}_р = \underline{I}_{нам4} - (\underline{I}_{нам1} + \underline{I}_{нам2} + \underline{I}_{нам3}) = \underline{I}_{нб}. \qquad (20.3)$$

Это выражение позволяет сделать вывод, что *вследствие погрешности ТТ в реле появляется ток небаланса* $\underline{I}_{нб}$, *равный*

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

геометрической разности токов намагничивания ТТ на поврежденном присоединении *W4* и ТТ всех остальных неповрежденных присоединений (*W1, W2, W3*), по которым ток КЗ притекает к шинам.

В общем случае

$$\underline{I}_{нб} = \underline{I}_{нам.повр.пр} - \Sigma\, \underline{I}_{нам.неповр.пр}. \qquad (20.3а)$$

Защита не будет действовать при условии, что ток срабатывания реле будет больше максимального тока небаланса, возникающего при $I_{K\,max}$ во время внешнего КЗ:

$$I_{с.р} > I_{нб\,max}.$$

При КЗ на шинах (рис. 20.3) по всем присоединениям, имеющим источники питания (генераторы), ток КЗ направляется к месту повреждения, т.е. к шинам подстанции. Вторичные токи направлены в обмотке реле одинаково, поэтому ток в реле равен их сумме:

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

$$\underline{I}_р = (\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 + \underline{I}_4)/K_I . \qquad (20.4)$$

Так как $\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 + \underline{I}_4 = \underline{I}_к$, то

$$I_р = I_к/K_I . \qquad (20.5)$$

Выражение (20.5) показывает, что при КЗ на шинах ДЗШ реагирует на полный ток $I_к$ в месте КЗ. Защита будет действовать, если $I_к > I_{с.з}$.

В нормальном режиме сумма токов, приходящих к шинам, всегда равна сумме токов, отходящих от шин, поэтому ток в реле равен нулю: $I_р = 0$. Из-за погрешности ТТ в реле появляется ток небаланса, который невелик в нормальном режиме и увеличивается при внешнем КЗ.

20.3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЗШ

Ограничение тока небаланса. Ток небаланса может вызвать неправильную работу РЗ, поэтому принимаются меры к ограничению его значения. Выражение (20.3) показывает, что для уменьшения тока небаланса необходимо умень-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

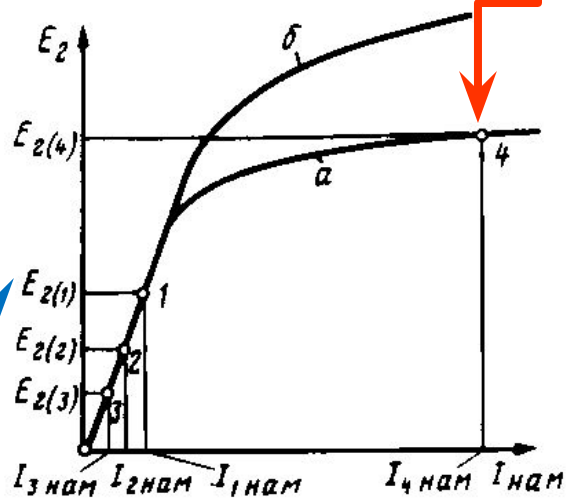


Рис. 20.4. Характеристика намагничивания трансформатора тока дифференциальной защиты

шить разность между намагничивающим током $I_{4нам}$ ТТ на поврежденном присоединении, по которому проходит наибольший ток КЗ, и суммой намагничивающих токов $I_{1нам}$ + + $I_{2нам}$ + $I_{3нам}$ остальных присоединений (*W1, W2, W3*). Как известно (см. гл. 3), $I_{нам}$ ТТ зависит от значения его вторичной ЭДС E_2 (рис. 20.4). Чем больше ток КЗ, проходящий через ТТ, тем больше E_2, а следовательно, и ток $I_{нам}$. При внешнем КЗ наибольший ток проходит через ТТ поврежденного присоединения, поэтому его $I_{нам}$ и погрешность максимальны.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

По ТТ остальных присоединений проходит лишь часть этого тока, благодаря чему их токи намагничивания значительно меньше. Особенно неблагоприятным является такое соотношение вторичных ЭДС, при котором ТТ поврежденного присоединения работают в насыщенной части (точка *4* на рис. 20.4), а все остальные – в прямолинейной части характеристики намагничивания (точки *1*, *2* и *3*). При этих условиях разница токов намагничивания в выражении (20.3) имеет наибольшее значение. Поэтому для *уменьшения небаланса нужно обеспечить условия, при которых все ТТ работают при внешних КЗ в ненасыщенной части характеристики.* С этой целью необходимо:

а) *применять однотипные ТТ*, у которых насыщение происходит при возможно больших токах $I_к$; наилучшими с этой точки зрения являются ТТ класса Р(Д), которые и рекомендуется применять для ДЗШ;

б) *уменьшать кратность тока* $I_к$ к номинальному току ТТ, увеличивая их коэффициент трансформации K_I;

в) *уменьшать нагрузку на ТТ*, уменьшая $Z_н$ и вторичный ток $I_в$; первое достигается за счет увеличения сечения и сокра-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

щения длины соединительных проводов, а второе – применением одноамперных ТТ или вспомогательных трансформаторов, понижающих ток в соединительных проводах.

Выбор ТТ и определение допустимой нагрузки $Z_н$ на них производится по кривым предельной кратности токов при 10 %-ной погрешности.

Отстройка дифференциальных реле от тока небаланса. Для улучшения отстройки от повышенных токов небаланса в неустановившемся режиме, когда они могут достигать больших значений за счет влияния апериодической составляющей тока КЗ, сильно намагничивающей сердечник ТТ, в ДЗШ, так же как и в других дифференциальных РЗ, применяются реле с насыщающимися ТТ. Последние не пропускают в реле апериодическую составляющую $I_{нб}$.

Защита выполняется с помощью реле типа РНТ-565 – при одинаковых коэффициентах трансформации ТТ или типа РНТ-567 – в схемах с ТТ, имеющими разные коэффициенты трансформации. Реле РНТ-567 имеет две независимые рабочие обмотки w_1 и w_2 и выполняется в двух модификациях – на 5 и 1 А вторичного тока.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

Разработана схема более совершенной ДЗШ с торможением типа ДЗШТ, которая обеспечивает лучшую отстройку от $I_{нб}$ при внешних КЗ и может применяться, когда простая ДЗШ не удовлетворяет требованиям чувствительности.

Контроль исправности токовых цепей. В случае обрыва или шунтирования фазы вторичной цепи ТТ одного из присоединений ток от оборванной или зашунтированной фазы не поступает в дифференциальные реле, в результате чего ДЗШ может неправильно сработать и отключить всю подстанцию или электростанцию.

Для предупреждения неправильной работы ДЗШ под влиянием тока нагрузки оборванной фазы дифференциальные реле отстраиваются от тока нагрузки наиболее загруженного присоединения.

Кроме того, в нулевом проводе дифференциальных реле устанавливается чувствительное токовое реле *КА0* (рис. 20.5), которое, срабатывая, при обрыве или шунтировании фазы вторичной цепи с выдержкой времени выводит ДЗШ из действия и подает предупредительный сигнал. Реле *КА0* дополняется миллиамперметром *PmA*, при помощи которого можно обнару-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

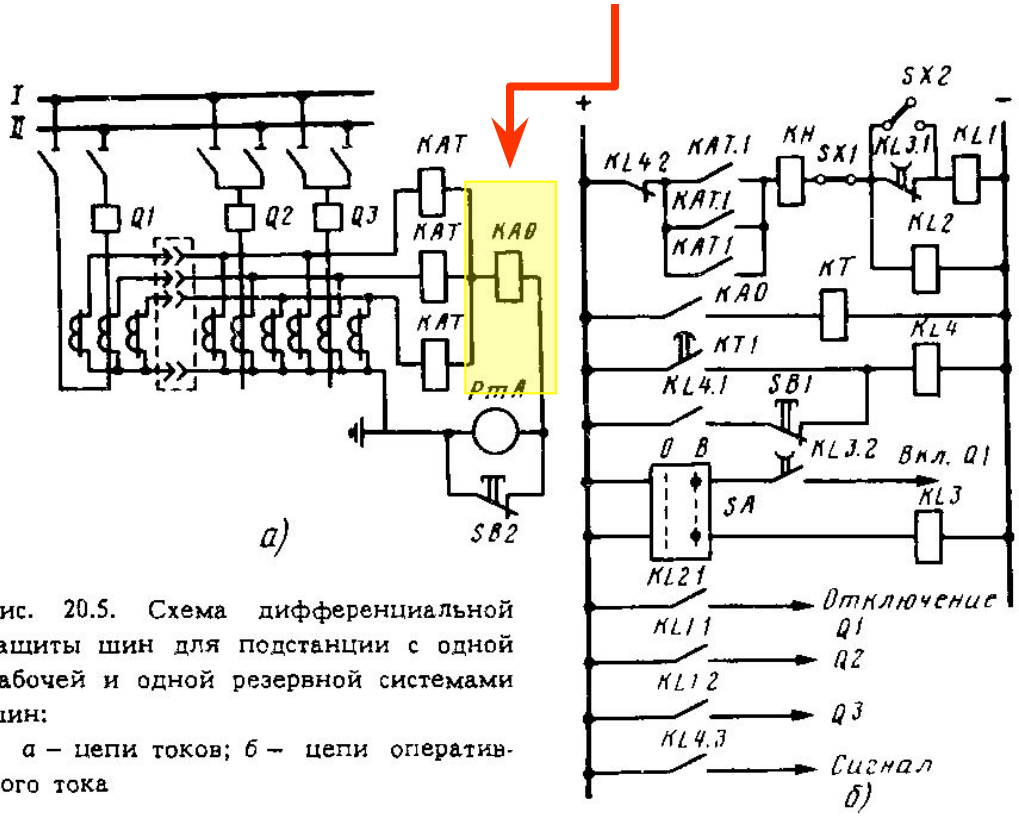


Рис. 20.5. Схема дифференциальной защиты шин для подстанции с одной рабочей и одной резервной системами шин:

а – цепи токов; *б* – цепи оперативного тока

жить не только обрыв, но и ухудшение контакта в цепи какой-нибудь фазы или витковое замыкание в ТТ, вызывающее увеличение тока небаланса в нулевом проводе.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

20.4. СХЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ШИН [59]

Схема дифференциальной защиты шин для подстанций с одной рабочей и второй резервной системами шин. Подстанция, схема которой изображена на рис. 20.5, нормально работает на одной СШ (рабочей), на которую включены все присоединения. Шиносоединительный выключатель *Q1* отключен. Вторая СШ (резервная) находится в резерве без напряжения. В схему ДЗШ электрических сетей с заземленной нейтралью входят три токовых реле *KAT* типа РНТ, каждое из которых включено на разность токов ТТ одноименных фаз всех присоединений подстанции. Для подстанции 35 кВ сети с изолированной нейтралью применяется аналогичная схема, но в двухфазном исполнении. Реле *KAT*, срабатывая при КЗ в зоне ДЗШ, подают плюс на обмотки *KL1* и *KL2*, первое из которых

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

отключает все присоединения, а второе – шиносоединительный выключатель.

Трансформаторы тока шиносоединительного выключателя нормально не подключены к токовым цепям ДЗШ. Сделано это для того, чтобы при подаче напряжения на резервную СШ включением шиносоединительного выключателя во время опробования она оказалась в зоне ДЗШ. Благодаря этому, если в момент опробования резервной СШ на ней возникает КЗ, будет обеспечено быстрое отключение повреждения. При этом целесообразно отключить только шиносоединительный выключатель, сохранив в работе неповрежденную рабочую СШ. В рассматриваемой схеме это обеспечивается с помощью дополнительного промежуточного реле, размыкающий контакт которого *KL3.1* включен в цепь обмотки выходного промежуточного реле *KL1*. Реле *KL3* срабатывает при подаче импульса от ключа управления *SA* на включение шиносоединительного выключателя *Q1* и размыкает цепь обмотки реле *KL1*. Если при этом вследствие включения на поврежденную резервную СШ подействуют реле *KAT*, произойдет отключение только шиносоединительного выключателя от реле *KL2*, так как цепь обмотки реле *KL1* будет разомкнута контактом *KL3.1*. После

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

обмотки реле *KL1* будет разомкнута контактом *KL3.1*. После включения шиносоединительного выключателя и возврата ключа управления *SA* реле *KL3* вернется, восстанавливая цепь обмотки *KL1*. Для того чтобы предотвратить ненужный вывод ДЗШ из действия при многократном опробовании выведенного в ремонт шиносоединительного выключателя, предусмотрена накладка *SX2*, шунтирующая контакт *KL3.1* промежуточного реле с замедлением на возврат 1–2 с.

Если шиносоединительный выключатель включен длительно в работу при использовании его вместо ремонтируемого выключателя одного из присоединений, его токовые цепи подключаются к токовым цепям ДЗШ с помощью испытательного блока. Вывод из работы ДЗШ при неисправности токовых цепей осуществляется с помощью реле *KA0*, реле времени *KT* и промежуточного реле *KL4*, которое, сработав, самоудерживается через контакт *KL4.1* и снимает с ДЗШ "плюс" размыкающим контактом *KL4.2*. Возврат схемы в нормальное положение осуществляется после восстановления токовых цепей нажатием кнопки *SB1*.

Приведенная на рис. 20.5 схема блокировки ДЗШ при неисправности токовых цепей имеет недостаток, заключающий-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

ся в том, что она работает лишь при нарушении одного или двух проводов данного плеча ДЗШ. В случае же, если цепь данного плеча будет нарушена полностью, т. е. будут отсутствовать все три фазы, блокировка не подействует, поскольку ток в нулевом проводе отсутствует. Для исключения этого недостатка в качестве пускового реле, фиксирующего неисправность токовых цепей, может использоваться трехфазное токовое реле типа РТ-40/Р, каждая обмотка которого включается последовательно с обмоткой реле ДЗШ. Такой пусковой орган будет срабатывать при нарушении одного из плеч токовых цепей.

Схема дифференциальной защиты шин для подстанций, работающих на двух системах шин с фиксированным распределением присоединений. Особенность таких подстанций состоит в том, что в работе находятся две СШ, связанные секционным или шиносоединительным выключателем (рис. 20.6). Каждое присоединение включается на определенную СШ, и это распределение остается неизменным, т. е. фиксируется. Для правильной ликвидации повреждений ДЗШ должна обеспечивать селективное отключение КЗ на каждой СШ, отключая шиносоединительный выключатель и все присоединения, включенные на повредившиеся шины. Селективность может быть достигнута применением двух самостоятельных комплек-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

включенные на повредившиеся шины. Селективность может быть достигнута применением двух самостоятельных комплектов ДЗШ, охватывающих каждую СШ. Однако такая схема будет иметь два недостатка: при включении всех присоединений на одну СШ ДЗШ будет работать неселективно при внешних КЗ; ДЗШ не обеспечит селективность при внешних КЗ в случае вынужденного нарушения фиксации присоединений. В обоих случаях ДЗШ пришлось бы отключать во избежание ее неселективной работы. Для обеспечения селективности в указанных режимах применяется схема с тремя комплектами ДЗШ.

Комплект реле *КАТ1* предназначается для защиты первой СШ. Он включается по дифференциальной схеме на ТТ всех присоединений, закрепленных за первой системой шин, и действует на их отключение. Комплект реле *КАТ2* служит для защиты второй СШ. Его реле питаются от дифференциально соединенных ТТ присоединений, закрепленных за второй СШ, и действуют на их отключение. Комплект *КАТ3* является ДЗШ обеих СШ. Он включен на сумму токов, проходящих через реле *КАТ1* и *КАТ2*, и оказывается дифференциально подключен-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

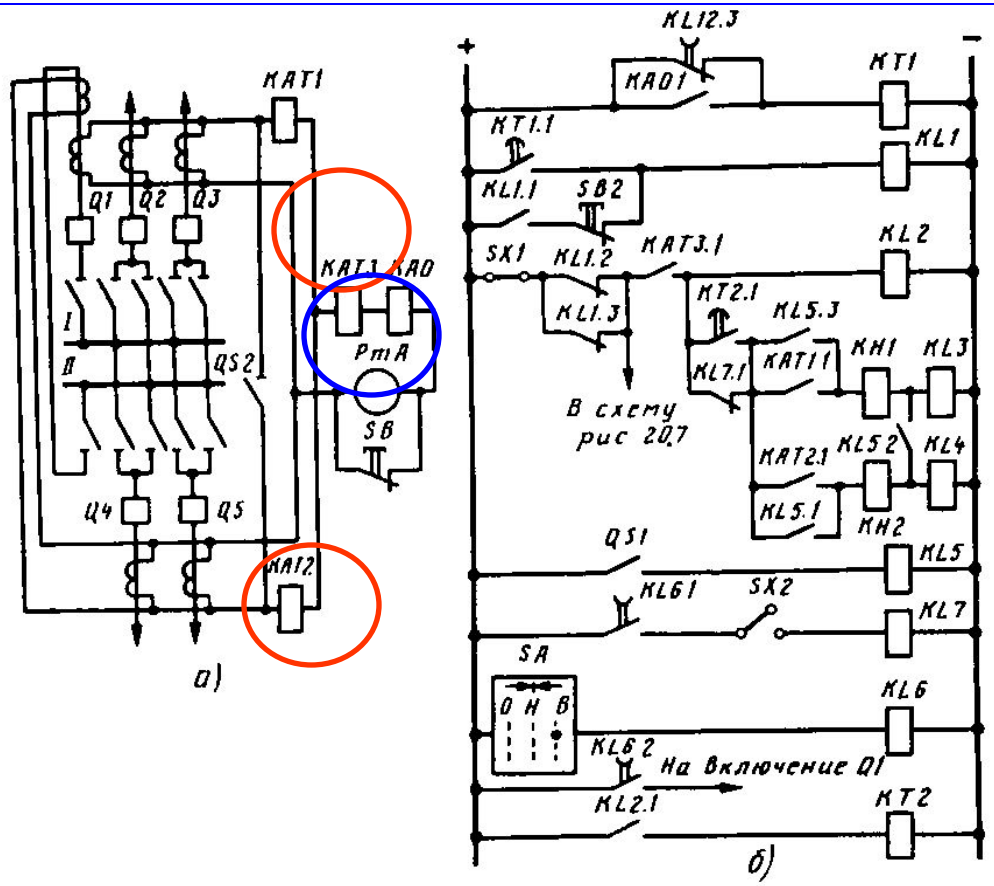


Рис. 20.6. Принципиальная схема в однофазном исполнении дифференциальной защиты шин для подстанций с фиксированным распределением присоединений:

а – цепи токов; *б* – цепи оперативного тока

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

ным к ТТ всех присоединений аналогично схеме рис. 20.5. Комплект *КАТ3* действует при КЗ на шинах как первой, так и второй СШ. При внешних КЗ он не работает независимо от того, как распределены по СШ присоединения. Реле комплекта *КАТ3* подают "плюс" оперативного тока на реле комплектов *КАТ1* и *КАТ2* и производят отключение шиносоединительного выключателя.

В случае соблюдения принятой фиксации присоединений все три комплекта не работают при внешних КЗ. При КЗ на шинах первой СШ действуют комплекты *КАТ1* и *КАТ3*. Для комплекта *КАТ2* это КЗ является внешним, и поэтому он не работает. В случае КЗ на второй СШ комплект *КАТ1* ДЗШ не работает – для него КЗ внешнее. Комплекты же *КАТ3* и *КАТ2* приходят

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

в действие и отключают все присоединения второй (поврежденной) СШ.

При нарушении фиксации присоединений индивидуальные комплекты *КАТ1* и *КАТ2* становятся неселективными и временно, до выполнения переключений в цепях переменного и оперативного токов, их необходимо вывести из действия. Это осуществляется с помощью рубильника *QS1* (рис. 20.6, *б*), при включении которого срабатывает промежуточное реле *KL5*: контакты этого реле шунтируют контакты токовых реле индивидуальных комплектов *КАТ1* и *КАТ2*. При этом в работе сохраняется только суммарный (пусковой) комплект *КАТ3*. В случае КЗ во внешней сети ДЗШ не работает, так как, несмотря на изменение фиксации присоединений, суммарный комплект остается селективным, поскольку к нему подключены токовые цепи присоединений обеих систем шин. При КЗ на любой из СШ суммарный комплект подействует на отключение всех присоединений обеих СШ.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

всех присоединений обеих СШ.

Для уменьшения нагрузки на ТТ и снижения тока небаланса при внешних КЗ при работе с нарушенной фиксацией целесообразно также объединить вторичные цепи всех ТТ с помощью рубильника *QS2*, устанавливаемого в токовых цепях в распределительном устройстве. Замкнутое положение рубильников *QS1* и *QS2* сигнализируется.

В схемах подстанций с двумя рабочими СШ при одном выключателе на присоединение обычно предусматриваются специальная резервная (обходная) СШ и обходной выключатель, который вводится в работу для замены выводимого в ремонт рабочего выключателя любого присоединения. Токовые цепи обходного выключателя нормально отключены и подключаются к одному из индивидуальных комплектов ДЗШ (*KAT1* или *KAT2*) при вводе обходного выключателя в работу.

Обходной выключатель может использоваться для опробования СШ, находящейся без напряжения. При этом, поскольку токовые цепи обходного выключателя отключены от ДЗШ, КЗ на опробуемой СШ окажется в зоне действия ДЗШ, которая подействует на его отключение. Для того чтобы в рассматриваемом случае обеспечить селективное отключение КЗ, предусмотрен вывод из действия индивидуальных комплектов ДЗШ (*KAT1* и *KAT2*) контактом промежуточного реле *KL7.1* (аналогично схеме на рис. 20.5). Накладка *SX2* замыкается оперативным персоналом перед подачей команды на включение об-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

ходного выключателя. Для резервирования предусмотрен ввод ДЗШ в действие контактом реле времени *КТ2.1*, шунтирующим контакт *KL7.1*. Пуск *КТ2* осуществляется контактом *KL2.1* при срабатывании суммарного комплекта ДЗШ. В рассматриваемой схеме аналогично рис. 20.5 предусмотрен вывод ДЗШ из действия в случае неисправности токовых цепей.

В схеме, приведенной на рис. 20.6, ТТ установлены только с одной стороны шиносоединительного выключателя, например со стороны СШ *II*. При таком расположении ТТ в случае КЗ между ними и шиносоединительным выключателем сработает индивидуальный комплект ДЗШ *КАТ1* и отключит шиносоединительный выключатель и все присоединения СШ *I*. Это, однако, не приведет к ликвидации КЗ, которое останется связанным с СШ *II*. Второй индивидуальный комплект ДЗШ *КАТ2* при этом повреждении не сработает, так как оно расположено вне зоны его действия. Ликвидация КЗ при рассматриваемом повреждении возлагается обычно на специальное устройство, так называемое устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ), которое в данном случае подействует и спустя 0,3–0,5 с даст импульс на отключение всех присоединений СШ *II* (см. гл. 21).

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

Чувствительный комплект защиты шин для действия при опробывании поврежденной системы шин. При подаче от одного из присоединений напряжения на поврежденную СШ вручную или после действия АПВ ток КЗ будет значительно меньше, чем при повреждении, возникающем на шинах в полной схеме. Если чувствительность ДЗШ при этом оказывается недостаточной, предусматривается дополнительный чувствительный комплект, который вводится в работу *кратковременно* при действии ДЗШ.

Упрощенная схема оперативных цепей чувствительного комплекта приведена на рис. 20.7, *а*. В этой схеме показан контакт токового реле *KAT3.1* чувствительного комплекта для одной из фаз: это реле, срабатывая, подает "плюс" на обмотку промежуточного реле *KL9*; последнее замыкает цепь выходных промежуточных реле соответствующей СШ. "Плюс" в схему подается после замыкания размыкающих контактов *KL1.2* и *KL1.3* (см. рис. 20.6, *б*).

Выходная цепь чувствительного комплекта ДЗШ нормально выведена из действия замыкающим контактом *KL10.3* (рис. 20.7). Реле *KL10* срабатывает при действии на отключение основ-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

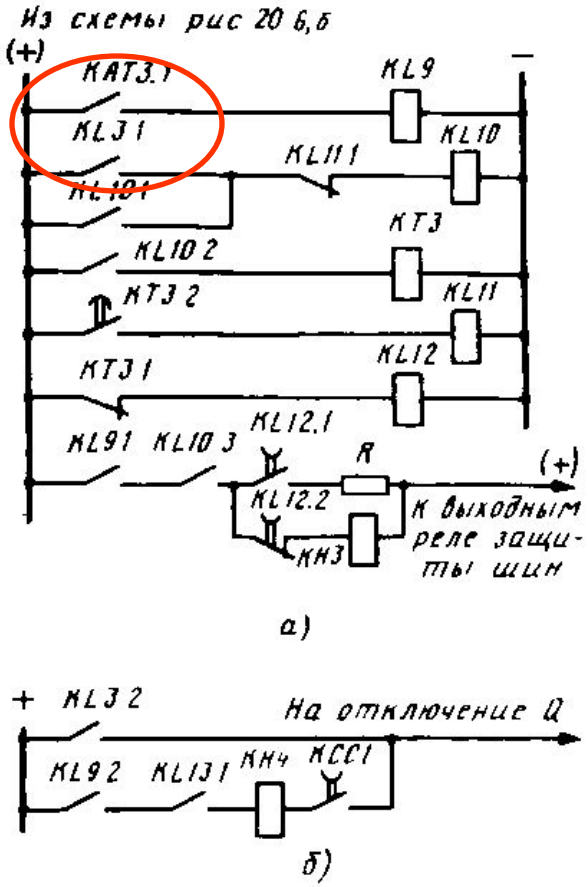


Рис. 20.7. Упрощенная принципиальная схема цепей чувствительного комплекта защиты шин

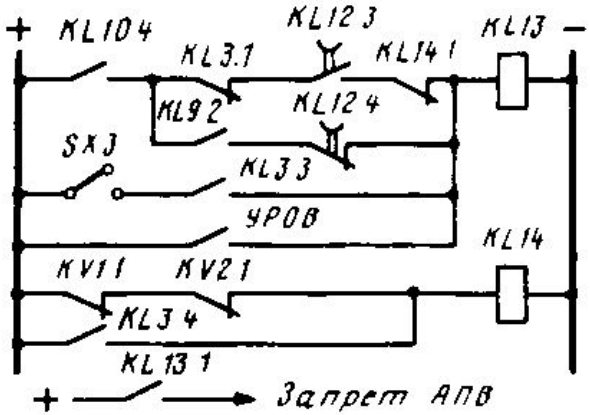


Рис. 20.8. Схема включения реле, осуществляющего запрет АПВ

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

ного комплекта ДЗШ соответствующей СШ *KL3.1* и самоудерживается через замыкающий контакт *KL10.1*, пока не будет деблокирован размыкающим контактом *KL11.1*. Деблокировка *KL10* осуществляется после того, как доработает реле времени *KT3*, в цепи обмотки которого включен замыкающий контакт *KL10.2*. При использовании в схемах ДЗШ ТТ с номинальным током 5 А в качестве чувствительного органа рекомендуется использовать реле РТ-40/2, РТ-40/6, РТ-40/10, а при использовании ТТ с номинальным током 1 А РТ-40/0,6 или РТ-40/2. Реле тока чувствительного комплекта должны быть отстроены от $I_{нб}$ при самозапуске нагрузки и бросках тока намагничивания трансформаторов, не отключаемых при действии ДЗШ.

Наряду с описанными функциями (повышение чувствительности ДЗШ при опробовании шин) схема, приведенная на рис. 20.7, *а*, обеспечивает самоудерживание выходных промежуточных реле через контакты чувствительного комплекта, что повышает надежность пуска УРОВ после ДЗШ. Ввод в действие чувствительного комплекта ДЗШ осуществляется также при подаче напряжения на поврежденную СШ после неуспешного АПВ. Для этого в цепи отключения выключателя присоединения, от которого опробуется поврежденная СШ, парал-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

лельно контакту выходного реле ДЗШ *KL3.2* (рис. 20.7, *б*) подключается цепочка из последовательно замыкающих контактов: *KL9.2* (реле-повторитель контактов токовых реле чувствительного комплекта); *KL13.1* (реле контроля отсутствия напряжения на шинах, см. ниже) и *KCC1* (реле команды "Включить"). Таким образом, в случае подачи напряжения на поврежденную СШ выключателем *Q* он будет отключен действием чувствительного комплекта ДЗШ.

Самоудерживание выходных промежуточных реле осуществляется через замыкающий контакт *KL12.2* реле *KL12*, обмотка которого постоянно обтекается током через размыкающий мгновенный контакт реле времени *KT3.1*. После пуска реле времени и размыкания контакта *KT3.1* реле *KL12* вернется, разомкнет контактом *KL12.1* выходную цепь самоудерживания и подготовит контактом *KL12.2* выходную цепь чувствительного комплекта ДЗШ через обмотку указательного реле *KH3*.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

В схеме ДЗШ предусмотрены специальные цепи *запрета АПВ* присоединений; благодаря этому осуществляется однократное автоматическое опробование поврежденной СШ. Запрет АПВ осуществляется контактами реле *KL13.1*, схема включения которого показана на рис. 20.8. Запрет АПВ осуществляется в следующих случаях: если после срабатывания ДЗШ (замкнут контакт *KL10.4*) и возвращения выходного реле (замкнут контакт *KL3.1*) на шинах подстанции остается напряжение (замкнут контакт *KL14.1*), что происходит при отказе в отключении выключателя одного из присоединений; если при автоматической подаче напряжения на СШ действием устройства АПВ одного из присоединений подействует чувствительный комплект ДЗШ (замкнется контакт *KL9.2*), что говорит о наличии устойчивого повреждения на шинах; после первого срабатывания ДЗШ (если включена накладка *SX3*); при срабатывании УРОВ.

Контроль наличия напряжения на шинах осуществляется с помощью реле напряжения *KV1*, включенного на междуфазное напряжение, и *KV2*, включенного на напряжение НП. При срабатывании любого из этих реле размыкается цепь обмотки реле *KL14*, которое контактом *KL14.1* подготавливает цепь запрета АПВ.

Особенности выполнения токовых цепей защиты при наличии на подстанции ТТ с разными коэффициентами трансфор-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

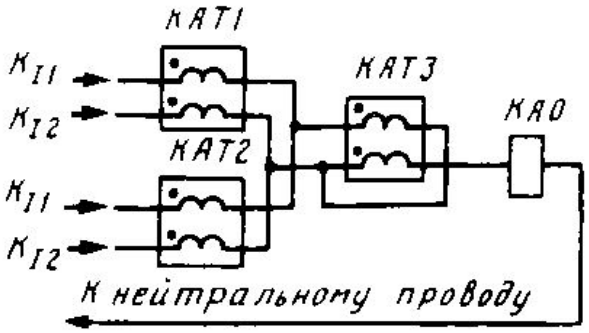


Рис. 20.9. Схема включения реле дифференциальной защиты шин при наличии на подстанции ТТ с разными коэффициентами трансформации

мации. В ряде случаев на подстанции устанавливаются ТТ с разными коэффициентами трансформации. Так, например, на понижающей подстанции коэффициент трансформации ТТ, установленных в цепи мощных АТ, в 2–3 раза превышает коэффициент трансформации ТТ, установленных на ЛЭП. Обычно число разных коэффициентов на подстанции не превышает двух.

Для компенсации разности вторичных токов при этом используется специальная схема включения токовых реле типа РНТ-567, показанная на рис. 20.9. Токовые цепи от ТТ с одинаковыми коэффициентами трансформации собираются вместе и подводятся к соответствующим обмоткам реле РНТ-567.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

При этом реле индивидуальных и суммарного комплектов включены по-разному. В реле индивидуальных комплектов токовые цепи от каждой группы ТТ с одинаковыми коэффициентами трансформации подключаются к своей обмотке. Число витков этих обмоток выбирается таким образом, чтобы в нормальном режиме, а также при внешних КЗ суммарная МДС в реле равнялась нулю. К реле суммарного комплекта токовые цепи подводятся так, что по одной обмотке проходит ток от группы ТТ с бо́льшим коэффициентом трансформации, а по другой – от групп ТТ с разными коэффициентами трансформации. Такое включение обмоток реле суммарного комплекта обеспечивает лучшие условия по термической стойкости, благодаря чему предотвращается перегрев обмоток реле при нарушении токовых цепей одного из плеч или одной из групп ТТ.

Контроль исправности токовых цепей в рассматриваемой схеме можно выполнить аналогично рис. 20.5 с помощью токового реле НП, включенного в общий нулевой провод токовых цепей ДЗШ. Следует иметь в виду, что при использовании двух групп ТТ с разными коэффициентами трансформации эта схема имеет недостаток, состоящий в том, что при наличии длитель-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

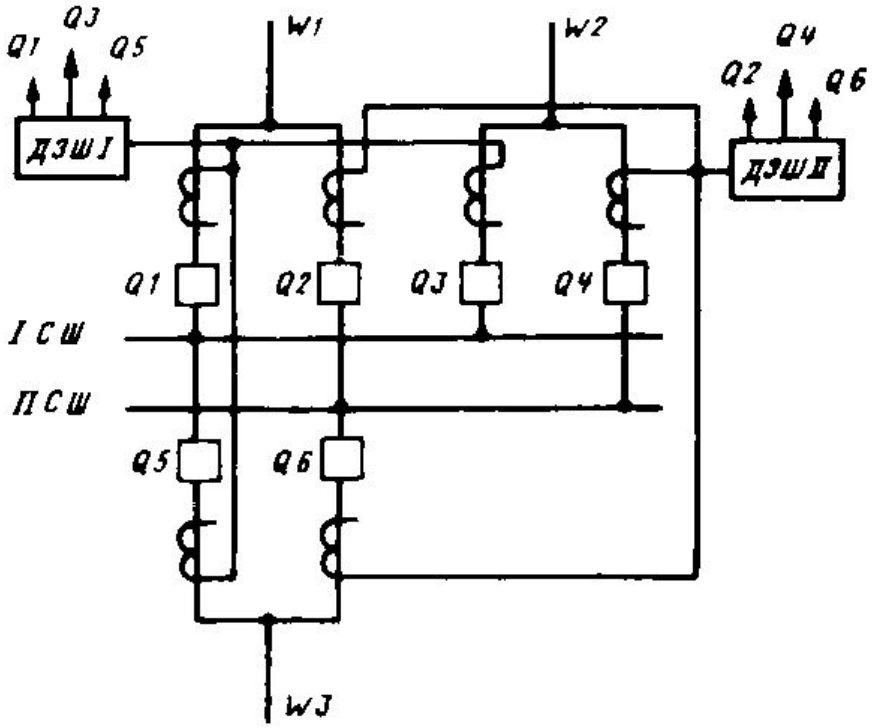


Рис. 20.10. Принципиальная схема в однофазном исполнении дифференциальной защиты шин для подстанции с двумя системами шин и с двумя выключателями на каждом присоединении

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

ной несимметрии в первичной сети реле *КА0* может сработать и вывести ДЗШ из действия при исправных токовых цепях.

Дифференциальная защита шин для подстанции с двумя системами шин и с двумя выключателями на каждом присоединении. Каждая СШ оборудуется отдельной ДЗШ (*ДЗШI* и *ДЗШII*), действующей на отключение выключателей своих шин (рис. 20.10). При КЗ на какой-либо СШ срабатывает ее ДЗШ, отключающая выключатели поврежденной СШ. Дифференциальная защита другой (неповрежденной) СШ не действует, так как для нее это внешнее КЗ, благодаря чему все присоединения остаются в работе, питаясь от оставшейся СШ. Каждая ДЗШ должна иметь устройство для контроля исправности токовых цепей.

Дифференциальная защита шин для подстанций с двумя системами шин и менее чем с двумя выключателями на присоединение. К подобным подстанциям относятся две схемы: с тремя выключателями на две цепи и с четырьмя выключателями на три цепи. Каждая СШ и в этом случае защищается своей собственной ДЗШ. Эти ДЗШ защищают также выключатели, связанные с соответствующими СШ (так же, как и в схеме с двумя выключателями на присоединение). Защита же сред-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

них выключателей в цепочках, не входящих в зону действия обоих ДЗШ, и ошиновки, связывающей их с другими выключателями, обеспечивается быстродействующими РЗ соответствующих ЛЭП и трансформаторов.

20.5. УСТАВКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ШИН С РЕЛЕ ТИПА РНТ

Ток срабатывания выбирается исходя из двух условий:

1) защита не должна действовать при обрыве вторичной токовой цепи в нормальном режиме, для этого

$$I_{с.з} = k_{отс} I_{н\,max}, \qquad (20.6)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,2–1,25; $I_{н\,max}$ – максимальный ток нагрузки наиболее загруженного присоединения;

2) защита не должна действовать от токов небаланса при внешних КЗ, для этого

$$I_{с.з} = k_{отс} I_{нб\,max}. \qquad (20.7)$$

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

При включении реле через насыщающийся трансформатор ток срабатывания отстраивается от тока небаланса в установившемся режиме. Значение установившегося $I_{нб\,max}$ оценивается приближенно. Предполагается, что работает с погрешностью только ТТ, по которому проходит суммарный ток КЗ. При этом условии ток небаланса будет равен погрешности ε этого ТТ, которая, в свою очередь, равна его току намагничивания $I_{нам}$:

$$I_{нб} = \varepsilon = I_{нам}.$$

Если ε при максимальном значении тока КЗ не превышает 10%, что проверяется по кривым 10%-ных погрешностей, то

$$I_{нб\,max} = 0{,}1 I_{к\,max}, \qquad (20.8)$$

где $I_{к\,max}$ – наибольший ток КЗ при внешних повреждениях.

Окончательно ток срабатывания принимается равным большему из двух полученных значений (20.6) и (20.7).

Число витков рабочей обмотки РНТ-567, РНТ-565 определя-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

ется по выражению

$$w = 100K_I/I_{с.з}, \qquad (20.9)$$

где 100 – МДС срабатывания реле РНТ-567 и реле РНТ-565.

При наличии в схеме подстанции двух групп ТТ с различными коэффициентами трансформации число витков обмотки РНТ, подключаемой к ТТ с бо́льшим коэффициентом трансформации, определяется по выражению (20.9), а число витков другой обмотки как идивидуальных, так и суммарного комплектов должно удовлетворять следующему условию:

$$w_1/w_2 = K_{I1}/K_{I2}. \qquad (20.10)$$

Коэффициент чувствительности ДЗШ при минимальном токе КЗ на шинах должен быть не менее 2, а в режиме опробования может быть понижен до 1,5. Если коэффициент чувствительно-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

может быть понижен до 1,5. Если коэффициент чувствительности основной ДЗШ при опробовании оказывается менее 1,5, необходимо использовать специальную чувствительную ДЗШ, вводимую на время опробования. На короткозамкнутой обмотке реле РНТ целесообразно принимать отпайки *АА* или сопротивление R = 10 Ом. Ток срабатывания токового реле НП, контролирующего исправность токовых цепей, принимается минимально возможным. Так, например, при использовании реле типа РТ-40/0,6 ток срабатывания принимается равным 0,15 А. Выдержка времени реле времени контроля исправности токовых цепей принимается больше максимальной выдержки времени резервных РЗ в прилегающей сети (с запасом до 9–10 с).

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

20.6. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ШИН 110 кВ И ВЫШЕ С ТОРМОЖЕНИЕМ

В рассмотренных выше схемах дифференциальных защит шин в качестве измерительного органа защиты использовались реле тока с НТТ типа РНТ-560, отличающиеся простотой конструкции и надежностью отстройки от токов небаланса в переходных режимах КЗ (см. гл. 10). Однако в установившемся режиме ток срабатывания РНТ должен быть отстроен от $I_{нб\,max}$, значение которого определяется погрешностью ТТ ($I_{с.з} = \varepsilon_1 I_{к\,max}$). Чтобы обеспечить необходимую чувствительность защиты,

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

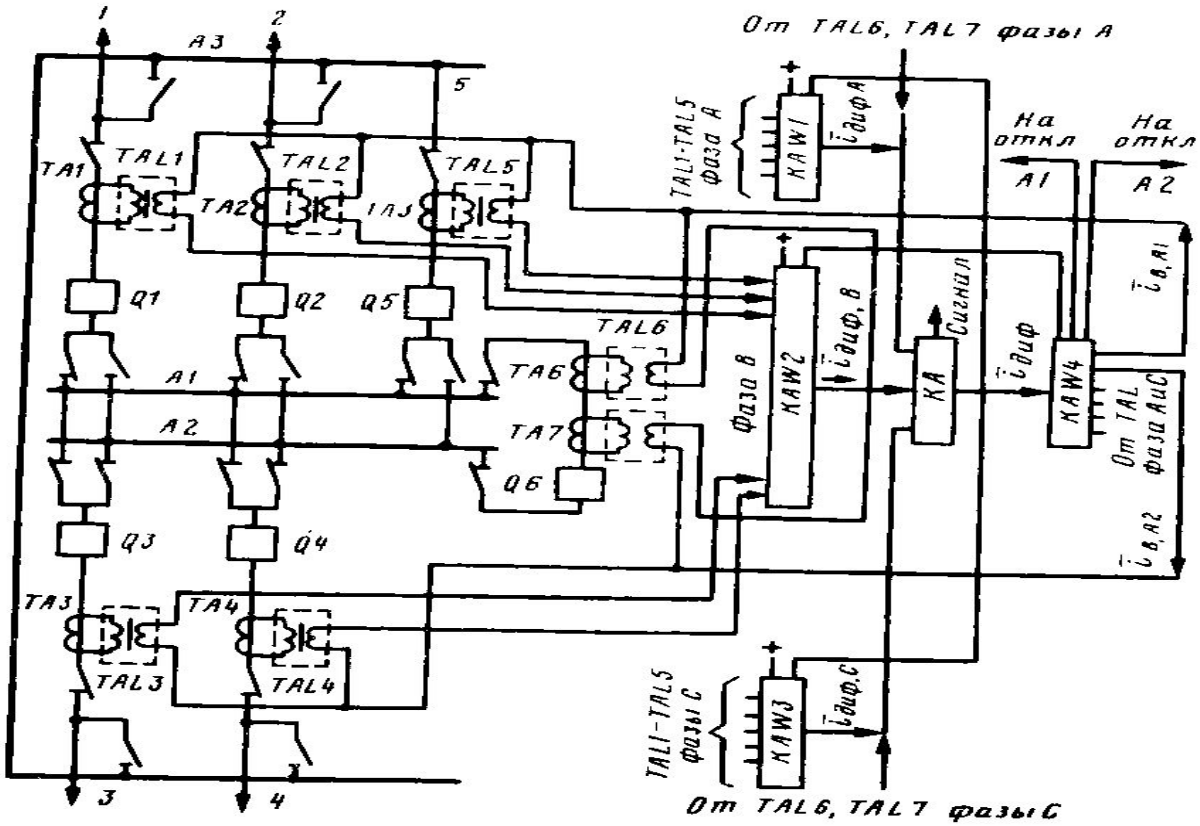


Рис. 20.11. Поясняющая структурная схема ДЗШТ

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

как было показано выше, погрешность ε_i для уменьшения тока срабатывания не должна превышать 10%. В тех случаях, когда погрешность ТТ не удается ограничить и она выходит за пределы 10%, ДЗШ с реле РНТ оказывается недостаточно чувствительной. В подобных случаях необходимо применять измерительный орган тока с торможением. Наличие торможения (см. гл. 10) позволит (см. рис. 20.13) отстроить рабочий ток срабатывания от тока небаланса при $\varepsilon_i > 10\%$ и обеспечить требуемую чувствительность защиты ($k_ч \approx 2$).

На рис. 20.11 приведена схема ДЗШ с торможением, разработанная проектным институтом "Энергосетьпроект" и широко применяемая в нашей стране для защиты шин подстанций

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

с двумя рабочими системами шин (*A1* и *A2*) с фиксацией присоединений между шинами. Рассматриваемая ДЗШТ может применяться и при других электрических схемах коммутации. Схема защиты дана упрощенно для одной фазы – фазы *B*.

Принцип выполнения торможения, используемый в рассматриваемой защите. В защите с торможением должны формироваться рабочий ток $I_р$ (называемый также дифференциальным $I_д$), действующий на отключение поврежденной системы шин и тормозной ток, противодействующий срабыванию защиты при внешнем КЗ. В качестве тормозного тока в дифференциальных защитах линий, генераторов, трансформаторов используется ток одного или обоих плеч защиты. Дифференциальные защиты шин, имеющих обычно несколько (*n*) присоединений, являются многоплечевыми схемами. В них для формирования дифференциального и тормозного токов используются токи *n* плеч всех присоединений. Для устранения влияния сдвига фаз между рабочим и тормозным токами эти токи выпрямляются.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

Дифференциальный ток $I_д$ получается путем геометрического сложения переменных токов всех n присоединений с последующим выпрямлением полученной суммы

$$I_д = \left|K_п \underline{I}_1 + K_п \underline{I}_2 + \ldots + K_п \underline{I}_n\right| = \left|\sum_1^n K_п \underline{I}_i\right|. \qquad (20.11)$$

Таким образом, ток $I_д$ является величиной, пропорциональной геометрической сумме комплексов тока. Для получения тормозного тока $I_т$ производится выпрямление токов каждого плеча всех n присоединений, а затем их арифметическое сложение:

$$I_\Sigma = \left|K_{п1}\underline{I}_1\right| + \left|K_{п2}\underline{I}_2\right| + \ldots + \left|K_{пn}\underline{I}_n\right| = \sum_1^n \left|K_{пi}\underline{I}_i\right|. \qquad (20.12)$$

С помощью тока I_Σ в схемах ДЗШ формируется тормозной ток.

Тормозное реле, применяемое в данной ДЗШ, основано на сравнении абсолютных значений дифференциального тока $I_д$ с тормозным током $K_т I_т$, где коэффициент торможения $K_т$ принимается всегда меньше единицы. Его значение выбирается исходя из условий надежной отстройки действия реле от небаланса при внешнем КЗ и достаточной чувствительности реле при КЗ на защищаемых шинах.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

Измерительный орган включается на разность дифференциального и тормозного токов; при этом ток в реле $I_р = I_{раб} - K_т I_т$. Ток $I_{раб} = I_д$ всегда равен геометрической сумме всех присоединений, согласно выражению (20.11). Ток $I_т$ может иметь два исполнения. По первому из них $I_т$ формируется по (20.12), как величина, пропорциональная арифметической сумме токов, т. е. $I_т = I_\Sigma$. Тогда при внешнем КЗ $I_д = 0$, а с учетом погрешностей ТТ $I_д = I_{нб}$. Тормозной ток $K_т I_т$ должен быть больше $I_{нб}$. В случае КЗ в зоне ДЗШТ $I_д = I_к$ в месте КЗ, при этом $I_р = I_д - K_т I_т$. Это означает, что ток в реле из-за противодействия $K_т I_т$ будет существенно меньше $I_к$.

В рассматриваемой защите, с целью повышения чувствительности, в качестве тормозного тока принят ток $I'_т$, равный разности между арифметической и геометрической суммами токов всех присоединений по (20.11) и (20.12). В соответствии с этим ток в реле

$$I_р = I_д - K_т I'_т = \left|\sum_1^n \underline{I}_i\right| - K_т\left(\sum_1^n \left|\underline{I}_i\right| - \left|\sum_1^n \underline{I}_i\right|\right).$$

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

При таком исполнении при внешнем КЗ ток $I_д$ равен 0 или, с учетом погрешностей, току небаланса; тормозной ток $I_т' \approx$ $\approx I_{к.вн}$ – ток КЗ при внешнем повреждении.

При КЗ в зоне $I_д = I_к$ (в месте КЗ), тормозной ток близок к нулю ($I_т' = 0$), если фазы токов всех присоединений одинаковы. При этом условии геометрическая и арифметическая суммы равны друг другу. При различии фаз геометрическая сумма будет больше арифметической и хотя в этом случае $K_т I_т \neq 0$, значение этого различия будет мало.

Таким образом, при КЗ на шинах $I_р \approx I_{к.вн}$, а $I_т$ близок к нулю.

Для уяснения устройства ДЗШТ рассмотрим схему, приведенную на рис. 20.11.

Конструктивно ДЗШТ выполняется в виде трех блоков: измерительного блока, блока логической схемы и блока промежуточных ТТ.

Измерительный блок (основной – на рис. 20.11). В состав блока входят следующие элементы: три пусковых органа, установленных на каждой фазе (реле тока с торможением *KAW1*, *KAW2*, *KAW3*), односистемный избирательный орган балансного типа (реле тока *KAW4*), орган контроля исправности цепи тока (односистемное реле тока *KA*).

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

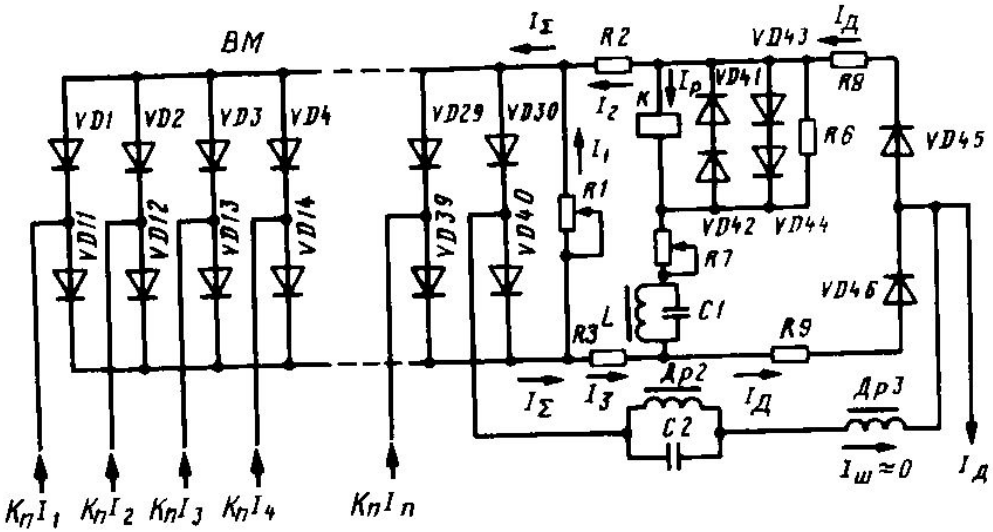


Рис. 20.12. Схема пускового органа одной фазы ДЗШТ

Ток к пусковым органам ДЗШТ подводится через промежуточные трансформаторы (ПТТ) *TAL*, которые необходимы для уменьшения тока до значения, допустимого для полупроводниковых диодов. Одновременно применение ПТТ снижает нагрузку на основные ТТ вследствие уменьшения рабочего тока в соединительных проводах.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

Наличие у первичной обмотки ПТТ ответвлений позволяет использовать ДЗШТ в схемах с различными коэффициентами трансформации ТТ.

Пусковой орган, схема которого приведена на рис. 20.12, содержит многополюсный выпрямительный мост ВМ, образованный полумостами *VD1, VD11, VD2, VD12, ..., VD29, VD39*, каждый из которых питается от вторичных обмоток ПТТ. Мост ВМ выпрямляет и суммирует входные токи, поэтому ток на выходе моста I_{Σ} пропорционален арифметической сумме токов присоединений обеих систем шин данной фазы. Полумост *VD45, VD46* обеспечивает выпрямление дифференциального тока $I_{д}$. Резисторы *R8* и *R9* ограничивают значение тока в режиме открытия обоих диодов; рабочие *R2, R3* и тормозной *R1* резисторы, входящие в схему сравнения рабочего и тормозного токов, служат для регулирования $K_{т}$. Реагирующий орган имеет магнитоэлектрическое реле *K* с резистором *R6*, демпфирующим колебания рамки реле, защитными диодами (*VD41–VD44*), резистором *R7*, обеспечивающим необходимый диапазон регулирования начального тока срабатывания пуско-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

вого органа, и сглаживающим фильтром-пробкой второй гармоники *C1*, *L*. Комбинированный фильтр *Dp2*, *C2*, *Dp3* и полумост *VD30*, *VD40* обеспечивают дополнительное торможение от апериодической составляющей и высших гармоник дифференциального тока при насыщении ТТ. Комбинированный фильтр настроен на прохождение токов с частотой, отличной от 50 Гц (минимальное сопротивление фильтра – при частоте 150 Гц). При этом основная часть апериодической составляющей и высших гармоник протекает через фильтр и, выпрямляясь мостом, создает дополнительное торможение.

Ток, протекающий в обмотке реле *K* и вызывающий его срабатывание, определяется соотношением дифференциального и тормозного токов $I'_д$ и I_Σ, которые поступают в реле при КЗ.

При однополупериодном выпрямлении средние значения токов I_Σ и $I_д$ определяются из выражений:

$$I_\Sigma = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \sum_1^n \left| K_{пi} \underline{I}_i \right| = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \left(\left| K_{п1} \underline{I}_1 \right| + \left| K_{п2} \underline{I}_2 \right| + \ldots + \left| K_{пn} \underline{I}_n \right| \right); \quad (20.13)$$

$$I_д = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \left| \sum_1^n K_{пi} \underline{I}_i \right| = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \left| K_{п1} \underline{I}_1 + K_{п2} \underline{I}_2 + \ldots + K_{пn} \underline{I}_n \right|, \quad (20.14)$$

где $\underline{I}_i$ – ток *i*-го присоединения.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

где I_2 – ток его присоединения.

Для получения аналитического выражения тока $I_{ц.р}$ (характеризующего работу реле K) ниже приводится система уравнений, составленных согласно 1- и 2-му законам Кирхгофа с учетом положительного направления токов, поступающих в реле (см. рис. 20.12):

$$I_1R_1 - I_2R_2 - I_3R_3 + I_{ц.р}R_{ц.р} = 0; \qquad (20.15)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{\pi}\sum_{1}^{n}\left|K_{п\,i}\underline{I}_i\right| = I_1 + I_2; \qquad (20.16)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{\pi}\sum_{1}^{n}\left|K_{п\,i}\underline{I}_i\right| = I_1 + I_3; \qquad (20.17)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{\pi}\left|\sum_{1}^{n}K_{п\,i}\underline{I}_i\right| = I_2 + I_{ц.р}, \qquad (20.18)$$

где I_1 – ток I_Σ в цепи тормозного резистора $R1$; I_2, I_3 – токи $I'_д$ в цепях рабочих резисторов $R2$, $R3$; $I_{ц.р}$ – ток в цепи магнито-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

электрического реле K; R_1 – сопротивление тормозного резистора $R1$, падение напряжения на котором противодействует срабатыванию реле; R_2, R_3 – сопротивления рабочих резисторов $R2$ и $R3$, падения напряжения на которых действуют на срабатывание реле; $R_{ц.р}$ – сопротивление цепи реле K.

Решив эту систему уравнений относительно тока $I_{ц.р}$, получим:

$$I_{ц.р} = \frac{\sqrt{2}}{\pi R}\left[K'\left|\sum_1^n K_{пi}\underline{I}_i\right| - K''\left(\sum_1^n \left|K_{пi}\underline{I}_i\right| - \left|\sum_1^n K_{пi}\underline{I}_i\right|\right)\right], \quad (20.19)$$

где $K' = R_2 + R_3$; $K'' = R_1$;

С учетом, что $\left|\sum_1^n K_{пi}I_i\right| = I_д$ модуль дифференциального тока (геометрическая сумма токов присоединений), действующего на срабатывание, правую часть в (20.19) можно рассматривать как расчетный тормозной ток $I'_т$, пропорциональный разности между арифметической суммой токов присоединений и геометрической суммой токов тех же присоединений. После соответствующих преобразований (20.19) [58] получим выражения тока в цепи реле K:

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

$$I_{ц.р} = \left|\sum_1^n \underline{I}_i\right| - K_т\left(\sum_1^n \left|\underline{I}_i\right| - \left|\sum_1^n \underline{I}_i\right|\right) = I_р - K_т I'_т, \qquad (20.19а)$$

где $K_т = R_1/(R_2 + R_3)$.

Исходя из (20.19а) ПО схемы работает следующим образом. При КЗ *на системе шин*, считая, что токи присоединений совпадают по фазе, получим, что геометрическая и арифметическая суммы равны. С учетом этого, $I'_т = 0$, а ток в реле равен $I_д$ (геометрической сумме токов всех присоединений), т. е. току $I_к$ в месте повреждения. При КЗ *вне зоны* геометрическая сумма токов равна нулю (пренебрегая небалансом). Это означает, что ток $I_д = 0$, а ток в реле равен тормозному току $K_т I'_т = K_т \sum_i^n \left|\underline{I}_i\right| = -K_т I_к$ при внешнем КЗ. Следовательно, ПО не действует. Таким образом, благодаря принятому способу торможения, оно отсутствует при КЗ на шинах, что обеспечивает максимальную чувствительность защиты.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

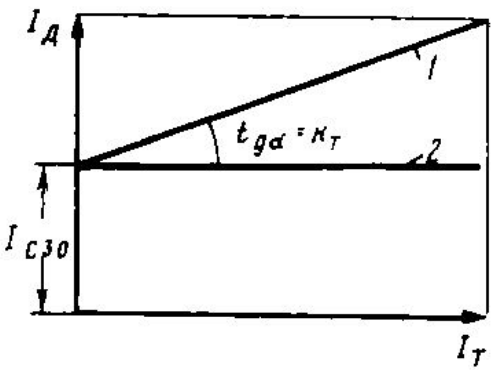


Рис. 20.13. Характеристика срабатывания пускового органа:

1 – при наличии торможения; *2* – при отсутствии торможения

Характеристика срабатывания пускового органа в осях $I_Д = \left|\sum_1^n I_i\right|$ и $I_Т = \sum_1^n |I_i| - \left|\sum_1^n I_i\right|$ изображается прямой линией *1* (рис. 20.13) с углом наклона $\alpha = \mathrm{arctg}\, K_Т$.

При отсутствии торможения характеристика изображается горизонтальной линией *2*. По этой характеристике реле работает при действии АПВ шин при автоматическом восстановлении напряжения на шинах после отключения возникшего на них КЗ. Такая автоматика предусмотрена в логической схеме ДЗШТ.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

Цепи автоматики предусмотрены в логической схеме ДЗШТ.

Выбор уставок ПО сводится к выбору $K_т$ по условию отстройки от ожидаемого тока небаланса $I_{нб\,max}$ при наибольшем значении $I_к^{(3)}$ во время внешнего КЗ и к определению значения $I_{с.з\,0}$. Ток выбирается по условию недействия ДЗШТ от тока нагрузки, появляющегося в случае обрыва провода в токовых цепях.

Ток срабатывания ПО регулируется резистором *R7*, а коэффициент торможения – резистором *R1*. При $K_т$, регулируемом до 0,6, обеспечивается правильная работа ДЗШ при погрешностях ТТ до 40%. Ток срабатывания ПО отстраивается от обрыва токовой цепи в нормальном нагрузочном режиме и регулируется плавно в интервале $(0{,}55 - 2{,}2)I_{ном}$ или для цепей с пятиамперными ТТ – от 2,75 до 11 А.

Односистемный избирательный орган KAW4 (рис. 20.14), который обеспечивает выбор поврежденной СШ при всех видах КЗ, содержит следующие элементы: два выпрямительных моста *VD1–VD6* и *VD7–VD12*, включенных по схеме на циркуляцию токов и обеспечивающих выпрямление и суммирование дифференциальных токов фаз соответственно I и II СШ с балластными резисторами *R1–R12*, ограничивающими отсос тока при открытии диодов шунтирующего моста; резисторы *R14* и *R15*, образующие выходную цепь схемы сравнения (паде-

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

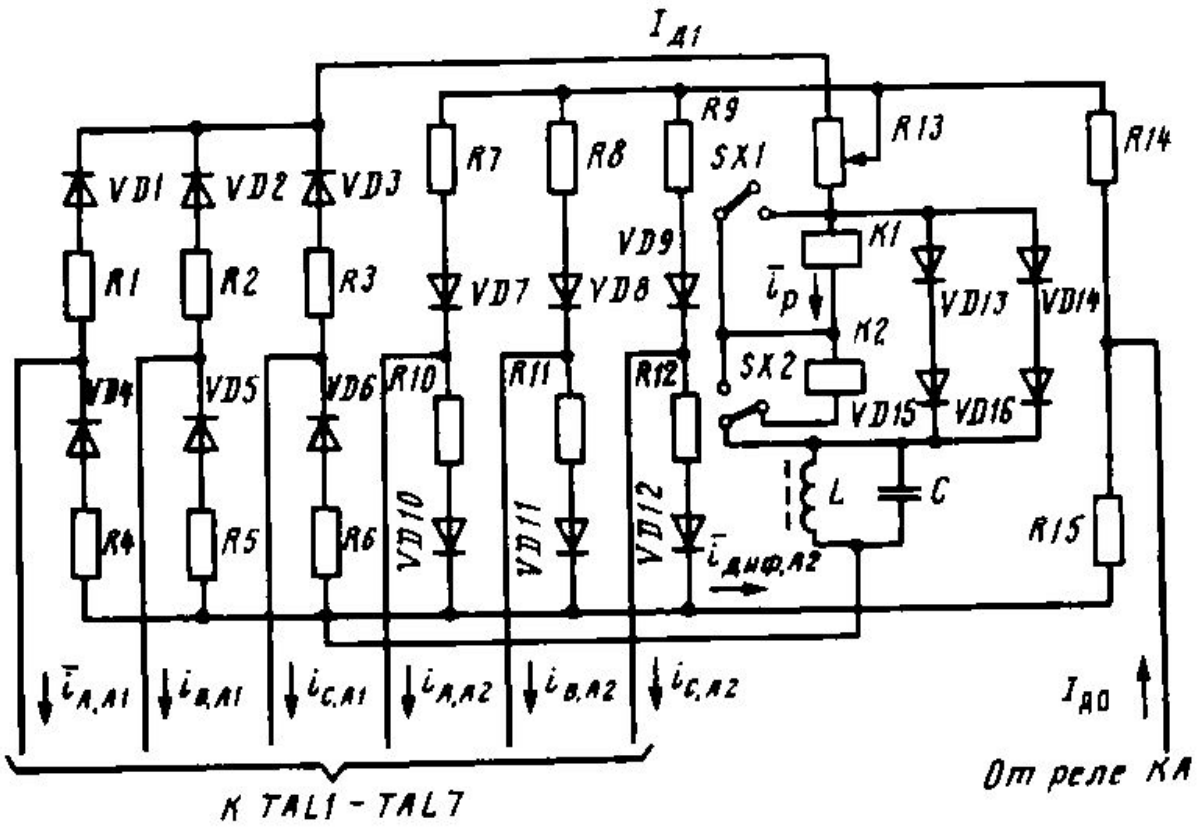


Рис. 20.14. Схема избирательного органа

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

ния напряжения на них пропорциональны разности токов мостов); реагирующие органы (магнитоэлектрические реле *K1* и *K2*, обеспечивающие выбор поврежденной СШ в зависимости от направления токов в цепи обмоток реле, с защитными диодами *VD13–VD16*, сглаживающим фильтром-пробкой второй гармоники *L–C* и резистором *R13*, регулирующим ток срабатывания избирательного органа. Использование двух реле *K1* и *K2* объясняется отсутствием реле двустороннего действия с необходимыми параметрами.

К двум выпрямительным мостам подводятся дифференциальные токи всех трех фаз I и II СШ. Уставка избирательного органа зависит от вида повреждения и при одно-, двух- и трехфазном КЗ относится как 3 : 2 : 1. С помощью резистора *R13* уставка при однофазном КЗ может плавно изменяться в диапазоне $(0{,}45 - 1{,}1)I_{ном}$. Уставка избирательного органа не отстраивается от токов небаланса при внешних КЗ в предположении, что при этом несрабатывание ДЗШ обеспечивается отстройкой ПО. *Орган контроля исправности токовых цепей* КА (рис. 20.15) включен на сумму токов всех фаз присоединений, включая ШСВ (в схеме участвуют по две обмотки ТТ каждой фазы ШСВ). Орган контроля срабатывает при обрыве одной, двух или трех фаз в цепях присоединений при токе нагрузки более $(0{,}055 - 0{,}07)I_{ном}$, что соответствует 0,275–0,35 А при пятиамперных ТТ. Регулировка уставки выполняется резистором *R1*.

ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

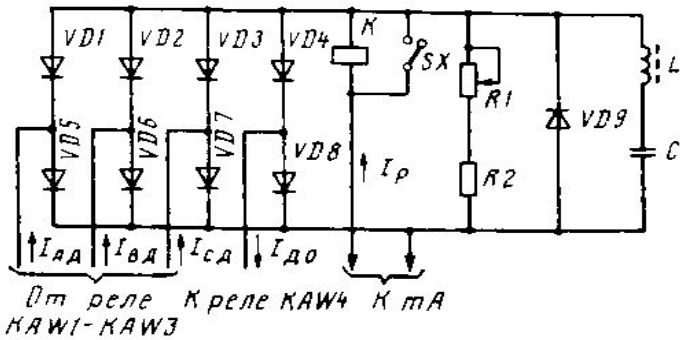


Рис. 20.15. Схема органа контроля исправности цепей тока

Орган контроля исправности токовых цепей может использоваться и как чувствительный орган ДЗШ. Имеется возможность в режимах АПВ выполнять автоматическое загрубление уставки этого реле.

Реагирующими органами пусковых и избирательных органов являются магнитоэлектрические реле типа М-237/055, имеющие ток срабатывания 100 мкА и достаточно жесткую пружину, обеспечивающую четкий возврат подвижной системы реле при отключении токов КЗ. Поскольку контактная система реле допускает работу при напряжении оперативного тока 70–125 В, в схеме оперативных цепей введено стабилизированное напряжение 100–110 В. От контактов магнитоэлектрических реле работают промежуточные реле типа РМУГ.

- **Благодарю за внимание!**