407-0-103,а-I

ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ
407-0-103

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И РАСЧЕТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТОРМОЗНОЙ ЗАЩИТЫ ШИН НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ И ВЫШЕ.

Рабочие чертежи

Состав проектных материалов

Альбом I. Пояснительная записка.

Альбом II. Чертежи.

Альбом I.

Разработаны
институтом "Энергосетьпроект"
Минэнерго СССР

Утверждены и введены в действие Минэнерго СССР

Решение № 304 от 13-УШ-1971г.

Зам.Главного инженера института "Энергосетьпроект" (Ю.БОРИСОВ)

Начальник отдела РЗАУМ (З.ЯКУШКИНА)

Начальник сектора типовых работ (В.РУБИНЧИК)

Ст.научный сотрудник (Э.СМИРНОВ)

Гл.инженер проекта (А.КОЖИН)

gost.e-ecolog.ru

А Н Н О Т А Ц И Я

В настоящей работе рассмотрена дифференциальная токовая с торможением защита шин, разработанная лабораторией релейной защиты отдела РЗАУМ института "Энергосетьпроект". В работе приведен принцип выполнения дифференциальной токовой с торможением защиты шин, разработаны принципиальные схемы защиты и метод ее расчета.

Схемы разработаны для следующих главных схем электрических соединений ОРУ 110-220 кв: двойная система шин при наличии обходного и шиносоединительного выключателей, двойная система шин при использовании шиносоединительного выключателя в качестве обходного, одиночная секционированная система шин при использовании секционного выключателя в качестве обходного.

Работа предназначена для применения при проектировании рассматриваемой защиты отделениями в ОКП института.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

1. Аннотация 4
2. Введение 7
3. Глава первая. Принцип выполнения дифференциальной токовой с торможением защиты шин 9
4. Глава вторая. Принципиальные схемы дифференциальной токовой с торможением защиты шин 110-220 кв . 16
   А. Общая часть 16
   Б. Особенности выполнения схем защиты шин 21
5. Глава третья. Расчет дифференциальной токовой с торможением защиты шин 110-220 кв станций и подстанций 33
   А. Основные указания по расчету 33
   Б. Пример расчета дифференциальной токовой с торможением защиты шин 44
6. Справка о рассмотренных патентных материалах . . 46
7. Выписка из патентного формуляра 47

В В Е Д Е Н И Е

Лабораторией релейной защиты отдела РЗАУМ института "Энергосетьпроект" разработана новая дифференциальная токовая с торможением защита шин, предназначенная для осуществления защиты шин напряжением 110 кв и выше.

Данная защита, по сравнению с дифференциальной защитой, выполняемой с использованием реле типа РНТ, благодаря наличию торможения, обладает более высокой чувствительностью. В связи с этим целесообразно внедрение этой защиты, что особенно актуально при больших погрешностях трансформаторов тока.

Научно-техническая комиссия по разработке предложений о создании и внедрении новых устройств релейной защиты в энергетических системах Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике рекомендовала Минэлектротехпрому освоение промышленного серийного производства защиты. Выпуск опытной партии защиты поручен Рижскому опытному заводу Латвэнерго. Начиная с 1971г завод приступает к выпуску опытно-промышленной партии комплектов защиты (заводское наименование ДЗШт).

Настоящая работа предназначена для содействия внедрению защиты в проектную практику.

В работе рассмотрен принцип выполнения защиты и ее основные особенности, которые необходимо учитывать при проектировании, разработаны принципиальные схемы защиты и метод её расчёта.

Приведенные в работе принципиальные схемы защиты шин даны применительно к следующим главным схемам электрических соединений подстанций на стороне 110-220 кв:

- двойная система шин с фиксированным распределением элементов при наличии обходного и шиносоединительного выключателей (рис. 1, а);

- двойная система шин с фиксированным распределением элементов при использовании шиносоединительного выключателя в качестве обходного (рис. 1, б);

- одиночная секционированная система шин для использования секционного выключателя в качестве обходного (1,в).

Указанные схемы защиты разработаны с использованием комплектов дифференциальной токовой с торможением защиты при сохранении основных принципов выполнения схем дифференциальной защиты шин, принятых в выпущенной отделом в 1969 г. работе "Принципиальные схемы дифференциальной защиты двойной системы шин и устройств резервирования при отказе выключателей подстанций 110-220 кв при наличии обходного и шиносоединительного выключателей", рабочие чертежи, типовые решения№ 407-0-75, инв. № 5406тм-тI (с учетом изменения схем в соответствии с информационным листком института № 15/11 от 8/IX-70 г.).

В связи с тем, что Рижским опытным заводом Латэнерго к моменту окончания данной работы не были выпущены информационные материалы на защиту, в работе не могли быть учтены окончательные схемы устройств и гарантируемые заводом параметры защиты. Поэтому настоящей работой надлежит пользоваться совместно с информационными материалами завода; при этом могут быть уточнены некоторые детали приведенных в работе схем, а также параметры устройств.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПРИНЦИП ВЫПОЛНЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ С ТОРМОЖЕНИЕМ ЗАЩИТЫ ШИН

1. Принцип выполнения дифференциальной токовой с торможением защиты шин рассматривается применительно к двойной системе шин 110-220 кв с фиксированным распределением элементов при наличии отдельных обходного и шиносоединительного выключателей (рис. 2,а). При этом условно принято, что на подстанции имеется 4 присоединения.

Структурная схема защиты содержит:

- промежуточные трансформаторы тока 1ТП-6ТП,

- пусковой орган, выполненный с использованием реле тока с торможением 1РТТ-3РТТ,

- изодромный орган, выполненный с использованием реле тока (балансного) РТБ,

- орган контроля исправности цепей переменного тока, выполненный с использованием реле тока РТ.

2. Пусковой орган осуществляет пуск защиты при повреждениях на защищаемых шинах.

Принципиальная схема реле тока 1РТТ пускового органа приведена на рис. 2,б. Аналогично выполнены реле 2РТТ и 3РТТ. Реле выполнены с использованием схемы сравнения на циркуляцию токов.

Схема реле тока 1РТТ содержит следующие элементы:

- выпрямительный мост, составленный диодами Д1-Д40 (диоды Д1 и Д11, Д2 и Д12, ... Д10 и Д20, Д21 и Д31, ... Д29 и Д39 образуют полумосты, число которых соответствует числу присоединений

- выпрямительный полумост, состоящий из диодов Д45 и Д46,

- диоды Д41 - Д44;

- комбинированный фильтр, состоящий из дросселей $Д_р2$ и $Д_р3$ и конденсатора С2, и фильтр второй гармоники (дроссель $Д_р1$ и конденсатор С1).

Выпрямительные мосты через промежуточные трансформаторы тока приключены к трансформаторам тока, установленным в цепях всех присоединений (цепи тока шиносоединительного выключателя 6В к реле тока пускового органа не подводятся).

К выпрямительному полумосту, составленному диодами Д45 и Д46, подводится ток $K_{т.э}\,\dot{I}_{д}$ ($K_{т.э}$ - величина, обратная произведению коэффициентов трансформации трансформаторов тока и промежуточных трансформаторов тока), пропорциональный геометрической сумме первичных токов всех присоединений $I_{д}$ (дифференциальный ток). На выходе рассматриваемого полумоста протекает выпрямленный ток $I'_{д}$, пропорциональный току $I_{д}$. Ток $I'_{д}$ создает момент магнитоэлектрического реле P, действующий на срабатывание этого реле.

К полумостам Д1 и Д11, Д2 и Д12 и т.д. подводятся токи $K_{т.э}\dot{I}_{i}$, пропорциональные первичным токам присоединений I_{i}. Ток $I'_{торм}$ на выходе рассматриваемого моста пропорционален арифметической сумме первичных токов присоединений $I_{торм}$

$$I'_{торм} = K_1 I_{торм} = K_1 \sum_{1}^{n} \left| \dot{I}_{i} \right| , \qquad (1)$$

где $\dot{I}_{i}$ - первичный ток i-го присоединения;

n - число присоединений;

K_1 - коэффициент пропорциональности, учитывающий трансформацию первичного тока трансформаторами тока и промежуточными трансформаторами тока, а также выпрямление тока с помощью выпрямительных полумостов;

Ток $I'_{торм}$ создает тормозной момент магнитоэлектрического реле.

Таким образом, реле 1РТТ-3РТТ являются реле тока с торможением. Характеристика срабатывания реле может быть представлена прямой, определяемой выражением:

$$I_{с.з} = I_{с.з.0} + K_{торм} I_{торм} , \qquad (2)$$

где $I_{с.з.0}$ - первичный начальный ток срабатывания реле;

$K_{торм}$ - коэффициент торможения;

$I_{торм}$ - первичный тормозной ток, равный арифметической сумме

первичных токов присоединений.

Характеристики срабатывания реле 1РТТ-3РТТ при наличии и отсутствии торможения приведены на рис. 2,д.

Рассматриваемый принцип выполнения реле тока (пускового органа с действием от геометрической суммы токов и с торможением от арифметической суммы токов дает возможность обеспечить эффективное торможение при внешних замыканиях и высокую чувствительность защиты при замыканиях на защищаемых шинах. Действительно, при внешнем замыкании модуль геометрической суммы токов примерно равен нулю, а арифметическая сумма токов - удвоенному значению тока, проходящего по поврежденному присоединению. При замыкании на шинах модуль геометрической суммы токов равен их арифметической сумме (без учета нагрузки).

Дроссели $Д_р2$ и $Д_р3$, конденсатор С2 составляют комбинированный фильтр токов высших гармоник и служат совместно с полумостом Д30 и Д40 для отвода из контура дифференциального тока указанных гармоник и апериодической слагающей. Благодаря этому тормозные характеристики при синусоидальной и искаженной форме кривой тока практически совпадают.

Диоды Д41 - Д44 и сопротивление R 7 служат для защиты магнитоэлектрического реле Р от больших токов.

Регулировка коэффициента торможения $K_{торм}$ осуществляется изменением сопротивления R 1. При необходимости автоматического снижения коэффициента торможения предусматривается дополнительное сопротивление, включаемое параллельно сопротивлению $R1$ контактами промежуточного реле (см. описание схемы по рис. 4, п.5).

Регулировка начального тока срабатывания защиты $I_{с.з.0}$ осуществляется изменением сопротивления R4 в цепи реле Р. При необходимости автоматического снижения $I_{с.з.0}$ предусматривается дополнительное сопротивление, включаемое параллельно сопротивлениям R5 и R6 контактами промежуточного реле (см. описание схемы рис. 4, п.5).

3. С помощью избирательного органа осуществляется выбор поврежденной системы шин.

Принципиальная схема реле тока РТБ приведена на рис. 2,в. Реле выполнено с использованием схемы сравнения на циркуляцию токов.

Схема реле тока РТБ содержит:

- выпрямительный мост Д1 - Д6 с сопротивлениями $R1 - R6$;
- выпрямительный мост Д7 - Д12 с сопротивлениями $R7 - R12$;
- два магнитоэлектрических реле Р1 и Р2;
- сопротивления $R13 - R15$;
- дроссель $Д_р$ и конденсатор С.

К плечам Д1 и Д4, Д2 и Д5, Д3 и Д6 выпрямительного моста подводятся геометрические суммы токов, соответственно фаз А,В и С элементов, присоединенных к I системе шин: $\dot{I}_{дAI}$, $\dot{I}_{дBI}$ и $\dot{I}_{дCI}$. Ток на выходе рассматриваемого моста пропорционален арифметической сумме токов

$$I'_{дI} = K_2\left(\left|\dot{I}_{дAI}\right| + \left|\dot{I}_{дBI}\right| + \left|\dot{I}_{дCI}\right|\right). \qquad (3)$$

Аналогично включен мост Д7 - Д12, но на токи элементов, присоединенных ко II системе шин. Ток на выходе этого моста пропорционален арифметической сумме токов

$$I'_{дII} = K_2\left(\left|\dot{I}_{дAII}\right| + \left|\dot{I}_{дBII}\right| + \left|\dot{I}_{дCII}\right|\right). \qquad (4)$$

В выражениях (3) и (4) K_2 - коэффициент пропорциональности, аналогичный приведенному в выражении (1).

Ток $I'_{дI}$ создает рабочий момент реле Р1 и тормозной - Р2, а ток $I'_{дII}$ - рабочий момент реле Р2 и тормозной - Р1. Таким образом, при $I'_{дI} > I'_{дII}$ срабатывает реле Р1 и при $I'_{дII} > I'_{дI}$ - реле Р2. Первое условие соответствует случаю повреждения на I системе шин, второе - на II системе шин.

Следует отметить, что на рис. 2,а цепи промежуточных трансформаторов тока обходного выключателя 5В условно показаны для случая замены обходным выключателем одного из присоединений I системы шин; при замене выключателя одного из присоединений II системы шин цепи

обходного выключателя должны быть соответственно переключены.

Тормозные характеристики балансного реле тока РТБ в первичных токах имеют вид:

- для реле Р1, действующего на отключение I системы шин

$$I_{с.з.I} = I_{с.з.о(и)} + \left(\left| \dot{I}_{дяII} \right| + \left| \dot{I}_{двII} \right| \right), \qquad (5)$$

- для реле Р2, действующего на отключение II системы шин

$$I_{с.з.II} = I_{с.з.о(и)} + \left(\left| \dot{I}_{дяI} \right| + \left| \dot{I}_{двI} \right| + \left| \dot{I}_{дсI} \right| \right). \qquad (6)$$

В выражениях (5) и (6) $I_{с.з.о(и)}$ - первичный начальный ток срабатывания реле Р1 и реле Р2.

Примерный вид характеристик реле РТБ показан на рис. 2,е.

Диоды Д13 - Д16 предусмотрены для защиты магнитоэлектрических реле Р1 и Р2 (по аналогии с диодами Д41 - Д44 реле РТТ).

Чувствительность реле тока РТБ различна при разных видах повреждений, поскольку оно реагирует на арифметическую сумму токов трех фаз. Реле тока РТБ имеет наибольшую чувствительность при трех фазных коротких замыканиях и наименьшую - при однофазных коротких замыканиях. Отношение первичных токов срабатывания реле при трехфазном и однофазном к.з. составляет порядка 1:3.

4. Реле тока РТ устройства контроля предназначено для действия на сигнал и выведения защиты из действия при неисправностях в цепях переменного тока (в том числе и в цепях промежуточных трансформаторов тока).

Принципиальная схема реле тока РТ приведена на рис. 2, г и содержит:

- выпрямительный мост Д1 - Д8;
- магнитоэлектрическое реле Р;
- сопротивления $R1$ и $R2$;
- дроссель $Д_р$, конденсатор С и диод Д9.

Выпрямительный мост выполнен по трехфазной четырехпроводной схеме. Ток на выходе выпрямительного моста пропорционален арифметической сумме первичных дифференциальных токов фаз $\dot{I}_{дА}$, $\dot{I}_{дВ}$, $\dot{I}_{дС}$ и нулевого провода $\dot{I}_{д0}$

$$I'_{д} = K_{з}\left(\left|\dot{I}_{дА}\right| + \left|\dot{I}_{дВ}\right| \quad \left|\dot{I}_{дС}\right| + \left|\dot{I}_{дО}\right|\right), \qquad (7)$$

где $K_{з}$ - коэффициент пропорциональности (см. выражение (1)).

Реле тока реагирует на обрыв цепей тока одной, двух и трех фаз.

Помимо реле тока РТ, устройство контроля содержит миллиамперметр и шунтирующую его кнопку, предназначенные для периодического контроля тока небаланса (на схеме рис. 2,г показаны цепи к указанным элементам).

5. Промежуточные трансформаторы тока (1ТТП - 6ТТП на рис. 2,а) включаются во вторичные цепи трансформаторов тока. Трансформаторы тока ТТП должны устанавливаться, как правило, в распределительном устройстве. Первичные обмотки этих трансформаторов тока имеют малое число витков, а вторичные - большое число витков. В связи с этим максимальный вторичный ток трансформаторов тока не превосходит долей ампера. Это позволяет значительно уменьшить сечение соединительных проводов и снизить нагрузку на трансформаторы тока защиты.

Первичные обмотки трансформаторов тока имеют ответвления, что позволяет использовать их для выравнивания коэффициентов трансформации трансформаторов тока в случаях, если на элементах, присоединенных к шинам, установлены трансформаторы тока с разными коэффициентами трансформации.

6. В комплект рассматриваемой защиты, опытная партия которой намечена к выпуску Рижским опытным заводом Латвэнерго, входят комплект реле тока КРТ, комплект промежуточных реле КРП и промежуточные трансформаторы тока ТТП (число последних определяется числом присоединений).

Схемы внутренних соединений комплектов КРТ и КРП приведены на рис. 3.

В комплект КРТ входят рассмотренные выше реле: реле тока с торможением 1РТТ-3РТТ пускового органа, реле тока РТБ избирательного органа и реле тока РТ органа контроля исправности цепей переменного тока.

Комплект КРП содержит реле – повторители Р1-Р4 магнитоэлектрических реле комплекта КРТ.

Предусмотрено включение обмоток промежуточных реле Р1-Р4 через делитель напряжения, состоящий из сопротивлений R9 и R10 и стабилитронов СТ1 – СТ3. Указанное необходимо для возможности использования защиты на подстанциях с оперативным постоянным током 220 в (допустимое напряжение на контактах магнитоэлектрических реле 110 в). Для облегчения условий работы указанных реле предусмотрены искрогасительные контуры (конденсаторы С1-С4, сопротивления R1 – R4, диоды Д1-Д4).

Комплект промежуточных трансформаторов тока, предназначенный для установки на одном присоединении, представляет из себя 3 трансформатора тока, размещенные в одном кожухе.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ С ТОРМОЖЕНИЕМ ЗАЩИТЫ ШИН 110 - 220 кв

А. Общая часть

1. В настоящей работе рассматриваются три главные схемы электрических соединений:

- двойная система шин с фиксированным распределением элементов при наличии обходного и шиносоединительного выключателей; максимальное число присоединений - шестнадцать линий и два автотрансформатора (трансформатора) - рис. 1,а;

- двойная система шин с фиксированным распределением элементов при использовании шиносоединительного выключателя в качестве обходного; максимальное число присоединений - четыре линии и два автотрансформатора (трансформатора) - 1,б;

- одиночная секционированная система шин при использовании секционного выключателя в качестве обходного; максимальное число присоединений - четыре линии и два автотрансформатора - рис. 1,в.

Для схем первичных соединений рис. 1,а и б разработаны (ан) схемы защиты, содержащие пусковой и избирательный органы (соответственно, схемы по рис. 4 и рис. 5).

Для схемы по рис. 1,в рекомендуется использование такой же схемы дифференциальной токовой с торможением защиты, что и для схемы по рис. 1,б (схема по рис. 5).

Необходимо отметить, что схемы первичных соединений по рис. 1, б и 1,в позволяют производить замену выключателя присоединения обходным выключателем как с разделением систем (секций) шин, так и без их разделения. При раздельной работе систем (секций) шин имеет место снижение чувствительности пускового органа дифференциальной токовой с торможением защиты шин по сравнению с режимом, когда системы (секции) не разделены. В связи с этим при использовании данной защиты применение режима с раздельной работой систем (секций) шин может ограничиваться условиями чувствительности.

По данным эксплуатации и проектных организаций разделение систем (секций) шин весьма часто представляется нежелательным.

В схеме по рис. 1,б в режиме замены выключателя присоединения обходным без разделения систем шин имеет место нарушение фиксации распределения элементов. В этом случае избирательный орган выводится из работы и при коротком замыкании на одной из систем шин от пускового органа будет производиться отключение всех элементов, присоединенных к обеим системам шин.

Как и для схемы рис. 1,б, для схемы рис. 1,в в ремонтном режиме (режим замены ремонтируемого выключателя обходным с сохранением параллельной работы секций) имеет место нарушение фиксации распределения элементов. При к.з. на одной из секций в этом режиме от защиты шин будут отключаться все присоединения обеих секций.

При принятом выполнении схемы защиты шин по рис. 1,в в случае ремонта одной из секций не может быть одновременно произведен и ремонт защиты, поскольку последняя является общей для обеих секций шин. Однако, учитывая опыт эксплуатации рассматриваемой схемы для двойной системы шин, указанное можно считать несущественным.

Схемы защиты шин рис. 4 и 5 выполнены с использованием комплектов реле КРТ и КРП дифференциальной токовой с торможением защиты шин (см. главу первую).

2. Приведенные в данной работе схемы дифференциальной токовой с торможением защиты шин, как уже отмечалось в главе первой, по сравнению с широко используемыми в настоящее время типовыми схемами дифференциальной токовой защиты шин[x)] позволяют выполнить более чувствительную защиту, в том числе в случаях, когда погрешности трансформаторов тока при внешних повреждениях значительно превышают I0%. Дифференциальную токовую защиту с реле серии РНТ, в послед-

---

x) Институт ЭСП, Типовые решения № 407-0-75 "Принципиальные схемы дифференциальной защиты двойной системы шин и устройств резервирования при отказе выключателей подстанций 110-220 кв при наличии обходного и шиносоединительного выключателей", Рабочие чертежи, инв. № 5406тм-т1, Москва, 1969 г.

нем случае, как правило, не представляется возможным выполнить в связи с тем, что уставки пускового органа защиты, выбранные по условию отстройки от токов небаланса при внешних повреждениях, оказываются столь большими, что защита не обладает требуемой чувствительностью.

3. Для защиты используются промежуточные трансформаторы тока (1ТТП-2ТТП рис.4 и 1ТТП-9ТТП рис.5), которые включаются во вторичные цепи трансформаторов тока. Указанные трансформаторы тока имеют ответвления от первичной обмотки, что позволяет устанавливать разные коэффициенты трансформации. Поэтому схемы по рис. 4 и 5 могут быть пригодны для случаев как с одинаковыми, так и с разными коэффициентами трансформации трансформаторов тока присоединённых к шинам элементов. При разных коэффициентах трансформации схема применима при условии, если имеется возможность установить число первичных витков промежуточных трансформаторов тока, необходимые для компенсации неравенства рассматриваемых коэффициентов трансформации.

4. При выполнении схем защиты принято, что после отключения системы (секции) шин в случае ее повреждения, первым от устройства АПВ включается один из питающих элементов (например, линия или автотрансформатор) и при успешном действии АПВ производится последующее, возможно более полное, автоматическое восстановление схемы доаварийного режима путем включения других элементов.

Схемы защиты могут быть использованы также в случае, когда АПВ шин выполняется только для опробования шин, без последующего автоматического восстановления схемы доаварийного режима.

5. Схемы по рис. 4 и 5 содержат цепи взаимодействия защиты шин с устройством резервирования при отказе выключателей (УРОВ).

Рассматриваемые схемы выполнены в предположении, что для пуска УРОВ, а также осуществления опробования шин при АПВ нет необходимости по условиям чувствительности в применении дополнительного чувствительного органа, как это, например, имеет место в типовых схемах (типовые решения№ 407-0-75).

Схемы по рис. 4 и 5 даны для случая, когда для достижения необходимой чувствительности пускового органа производятся изме-

нения его характеристики срабатывания (снижается начальный ток срабатывания и коэффициент торможения).

Изменённая характеристика реле тока (пускового органа) должна выбираться по условию отстройки от токов небаланса, обусловленных бросками тока намагничивания автотрансформаторов (трансформаторов) и токами самозапуска нагрузок, питающихся от тупиковых линий, неотключаемых защитой шин, а также от тока небаланса при асинхронном ходе или качаниях, возникающих между элементами, присоединенными к шинам (в том числе и к неповрежденной системе шин).

Изменение характеристики реле производится при действии защиты на отключение на время, в течение которого к ранее поврежденной системе шин в процессе АПВ может быть приключено такое количество элементов, при котором пусковой орган имеет требуемую чувствительность без изменения характеристики при повреждениях на шинах. Следует отметить, что при автоматической сборке схемы после опробования шин шиносоединительный (секционный) выключатель целесообразно включать как можно раньше. Это позволит предотвратить отказ защиты при повреждении шин в процессе автоматической сборки схемы, возможный в связи с тем, что при раздельной работе систем (секций) шин пусковой орган имеет пониженную чувствительность (см. гл. третью, п.п. 7 и 8).

Более совершенной является схема, в которой для пуска УРОВ и опробования шин при АПВ используется дополнительный чувствительный пусковой орган (как, например, в типовых решениях № 407-0-75). При этом изменение характеристики пускового органа не производится.

При применении схемы с дополнительным пусковым органом создаются более благоприятные условия отстройки от токов небаланса; при излишнем срабатывании защиты из-за токов небаланса последствия оказываются менее тяжелыми, чем при применении защиты без указанного органа.

Это объясняется следующим. Дополнительный пусковой орган включается на ток данной системы шин. Поэтому он не находится под воздействием токов небаланса при качаниях, возникающих после отключения поврежденной системы шин, и токов небаланса при внешнем к.з. на элементах, присоединенных к неповрежденной оставшейся в

работе системе шин. Дополнительный пусковой орган должен быть, как правило, отстроен лишь от токов небаланса при качаниях в процессе осуществления АПВ шин. В случае, когда осуществить указанную отстройку оказывается невозможным, при излишнем срабатывании рассматриваемого органа отключается только поврежденная система шин.

При отсутствии же дополнительного пускового органа излишнее срабатывание защиты из-за токов небаланса ведет к обесточению обеих систем шин.

Выполнение в настоящее время схемы данной защиты с дополнительным пусковым органом затруднительно ввиду отсутствия его заводского изготовления. В связи с указанным следует поставить вопрос о разработке и внедрении в промышленное производство специального реле тока, предназначенного для осуществления указанного дополнительного пускового органа.

6. Схемы выполнены с учетом возможных неполнофазных отказов выключателей (отказ одного из выключателей присоединений системы шин при срабатывании защиты шин и отказ в отключении при неуспешном АПВ выключателя элемента); в рассматриваемых схемах предусмотрены цепи запрещения АПВ от защиты и от специального органа напряжения.

Подробное описание цепей запрещения АПВ дано ниже применительно к схеме рис. 4 (см. описание схемы рис. 4, п.7).

7. В схемах предусмотрено устройство контроля исправности цепей переменного тока, выполненное с использованием реле тока РТ комплекта КРТ (описание реле тока РТ - см. глава первая, п.4 и 6).

8. В схеме по рис. 4 в цепи обходного выключателя предусмотрены два комплекта промежуточных трансформаторов тока. Использование двух комплектов промежуточных трансформаторов тока (а не одного) позволяет упростить операции с испытательными блоками при замене выключателя присоединения обходным (подробнее см. описание схемы по рис. 4, п.14).

Схема по рис. 5 в части цепей тока шиносоединительного (обходного выключателя) дана для случаев установки в цепи шиносоединительного выключателя трех (рис. 5,а) или двух (рис. 5,в) комплек -

тов промежуточных трансформаторов тока. Приключение промежуточных трансформаторов тока к защите осуществляется с помощью испытательных блоков. Использование нескольких промежуточных трансформаторов тока, как и для схемы по рис. 4, позволяет упростить операции с испытательными блоками при использовании шиносоединительного выключателя в качестве обходного.

В схеме по рис. 5,е несколько сложнее, чем в схеме по рис.5,а, операции с испытательными блоками, однако, первая схема выполнена с использованием меньшего числа промежуточных трансформаторов тока. В связи с этим схема по рис. 5,е может быть рекомендована в случаях, когда в дальнейшем предполагается развитие подстанции.

При этом рассматриваемые промежуточные трансформаторы тока будут использованы в цепи обходного выключателя по аналогии со схемой по рис. 4.

9. Ниже дано подробное описание применительно к схеме по рис. 4; для схемы по рис. 5 даются основные её отличия от схемы по рис. 4.

Б. Особенности выполнения схем защиты шин

Рис. 4. Принципиальная схема дифференциальной токовой с торможением защиты двойной системы шин 110-220 кв с фиксированным распределением элементов при наличии обходного и шиносоединительного выключателей.

I. Схема дана для двойной системы шин 110-220 кв с фиксированным распределением элементов при наличии обходного и шиносоединительного выключателей для случая с шестнадцатью линиями.

2. Схема содержит пусковой орган, выполненный с реле тока ІРТТ-3РТТ, имеющими тормозную характеристику, балансный избирательный орган, выполненный с реле тока РТБ, и устройство контроля, выполненное с реле тока РТ. Указанные элементы составляют комплекс реле КРТ.

В схеме используется также комплект реле КРП (рис. 3,б), размещенные в нем промежуточные реле Р1-Р4 являются реле - повторителями контактов магнитоэлектрических реле комплекта КРТ.

Описание комплектов реле КРТ (реле тока 1РТТ-3РТТ, РТБ и РТ) и КРП приведено в главе первой.

3. При выполнении схемы принято, что в случае повреждения на одной из систем шин после отключения присоединенных к ней питающих элементов (при действии выходных промежуточных реле 3РП-5РП, 9РП или 10РП-12РП, 16РП - рис. 4,в) первым от устройства АПВ включается один из питающих элементов (линия или автотрансформатор) и при успешном действии АПВ производится последующее возможно более полное автоматическое восстановление схемы доаварийного режима путем включения других питающих элементов от своих устройств АПВ.

АПВ элемента, включаемого первым, выполняется с проверкой отсутствия напряжения на шинах, а АПВ остальных элементов - с проверкой наличия синхронизма или наличия напряжения на шинах.

Представляется целесообразным проверку отсутствия напряжения на шинах предусматривать в устройствах АПВ двух элементов. Указанное предотвращает отказ в полной сборке схемы в случае неполнофазного включения выключателя элемента, включаемого первым, и последующего отключения его от реле переключения фаз.

В случае успешного включения первого элемента пуск АПВ второго элемента, имеющего цепь проверки отсутствия напряжения на шинах, будет осуществляться по параллельной цепи. Такой цепью является цепь проверки наличия синхронизма или напряжения на шинах.

Для возможности в отдельных случаях включения при АПВ шин не всех питающих линий, в схеме предусмотрены цепи запрещения АПВ линий от контактов выходных промежуточных реле защиты шин 6РП-8РП, 13РП-15РП через соответствующие накладки (на схеме рис. 4,г обведены пунктиром), установленные на панелях АПВ присоединений.

Для выключателей автотрансформаторов (трансформаторов), а также шиносоединительного выключателя цепи запрещения АПВ от выходных промежуточных реле защиты шин не предусматривается. Ука-

занное объясняется тем, что устройства АПВ на этих элементах устанавливаются только для осуществления АПВ шин. В тех случаях, когда повторное включение автотрансформатора (трансформатора), или шиносоединительного выключателя при полной сборке схемы должно быть исключено, устройства АПВ выводятся из работы соответствующими накладками, предусмотренными в их выходных цепях.

4. Схема дана в предположении наличия устройства резервирования при отказе выключателей (УРОВ). Выходные промежуточные реле защиты шин 3РП-5РП, 9РП, 10РП-12РП, 16РП используются для действия на отключение присоединённых к шинам элементов при срабатывании УРОВ; промежуточные реле защиты 24РП-29РП используются для запрещения АПВ при действии УРОВ; контакты выходных промежуточных реле $9РП_I$ и $16РП_I$ и контакты испытательных блоков 21БИ и 23БИ используются в цепях пуска УРОВ при срабатывании защиты шин.

5. Схема выполнена с учётом того, что при повреждении на шинах возможны режимы, в которых защита с нормальной характеристикой срабатывания пускового органа может иметь недостаточную чувствительность. Такими режимами являются:

- отказ выключателя при повреждении на шинах;

- включение при действии устройства АПВ первым выключателя одного из присоединений к повреждённой системе шин на неустранившееся короткое замыкание.

В первом случае защита должна обеспечить пуск УРОВ, а во втором - сработать для повторной ликвидации повреждения на шинах.

Как отмечается ниже в главе третьей (п. 7), при невозможности обеспечения чувствительности защиты в указанных режимах при нормальной характеристике срабатывания пускового органа, рекомендуется после срабатывания защиты автоматически вводить изменённую характеристику на необходимое время. При этом целесообразной является измененная характеристика без торможения. Условия выбора этой характеристики - обеспечение требований чувствительности в рассматриваемых режимах и отстройка защиты от качаний в системе после отключения системы шин. В связи с этим может потребоваться одновременно со снятием торможения автоматически понизить или повысить ток срабатывания.

Учитывая, однако, что торможение даёт более надёжный запас отстройки защиты от токов небаланса, желательно проверить возможность использования для рассматриваемых режимов характеристики срабатывания с торможением, но с уменьшенным по сравнению с нормальным коэффициентом торможения $K_{торм}$ (глава третья, п. 7). Для осуществления такой характеристики одновременно с автоматическим снижением $K_{торм}$ может потребоваться автоматическое действие на увеличение начального тока срабатывания $I_{с.з.о}$, поскольку снижение коэффициента торможения вызывает из-за перераспределения токов в схеме пускового органа уменьшение $I_{с.з.о}$.

Для автоматического снижения $K_{торм}$ должно предусматриваться шунтирование (контактами промежуточного реле) сопротивления $R1$ (см. рис. 3), с помощью которого производится регулирование $K_{торм}$, дополнительным сопротивлением. Для автоматического снятия торможения сопротивление $R1$ должно закорачиваться действием соответствующего промежуточного реле.

Для автоматического снижения $I_{с.з.о}$ должно предусматриваться шунтирование сопротивлений $R5$ и $R6$ в цепи реле Р (рис. 3) контактами промежуточного реле. Для автоматического увеличения $I_{с.з.о}$ должна предусматриваться возможность увеличения сопротивления контура обмотки реле Р контактами аналогичного промежуточного реле.

Данная схема дана в предположении, что изменённая характеристика срабатывания пускового органа, вводимая автоматически после срабатывания защиты, принята с торможением со сниженным коэффициентом торможения $K_{торм}$ и сниженным начальным током срабатывания $I_{с.з.о}$.

Снижение $K_{торм}$ осуществляется с помощью реле 20РП. При срабатывании этого реле включаются дополнительные сопротивления $3R$ - $5R$ (рис. 4,д) параллельно сопротивлениям $R1$, входящим в схему реле тока 1РТТ - 3РТТ. Снижение $I_{с.з.о}$ осуществляется реле 21РП. При срабатывании этого реле включаются дополнительные сопротивления $6R$ - $8R$ (рис. 4,д) параллельно сопротивлениям $R5$ и $R6$, входящим в схему реле тока 1РТТ - 3РТТ. Введением в схему сопротивлений $6R$ - $8R$ обеспечивается более точное изменение

значения $I_{с.з.о}$ и снижение $I_{с.з.о}$ до бо́льших значений, чем при закорачивании $R5$ и $R6$.

6. При нарушении фиксации элементов по системам шин избирательный орган выводится из работы включением рубильника IP (промежуточное реле ЗОРП является повторителем положения контактов рубильника). В этих условиях пусковой орган действует на отключение обеих систем шин.

7. При несимметричном коротком замыкании на шинах и отказе в отключении неповрежденных фаз выключателя элемента, включаемого первым, этот элемент не может быть отключен ни от УРОВ, ни от защиты на противоположном конце линии, т.к. по элементу не проходит ток повреждения.

В связи с тем, что в рассматриваемом случае на шинах будет иметься напряжение неповрежденных фаз, может произойти многократное включение питающих элементов на устойчивое короткое замыкание на шинах. Указанное обусловлено принятым в настоящее время выполнением типовых устройств АПВ питающих элементов, в которых:

- для проверки наличия напряжения на шинах предусмотрено одно реле напряжения, включенное на междуфазное напряжение;

- проверка наличия синхронизма производится в одной фазе.

Для предотвращения многократных включений на короткое замыкание в случае отказа в отключении неповрежденных фаз выключателя элемента, включаемого первым, в схеме предусмотрены цепи запрещения АПВ питающих элементов при повторном действии защиты на отключение.

Предусматривается также запрещение АПВ при несимметричном неустойчивом коротком замыкании на шинах и отказе неповрежденных фаз выключателя одного из элементов при срабатывании защиты шин. Запрещение АПВ в рассматриваемом случае целесообразно в связи с появлением условий, при которых возможно неправильное действие защиты сети, прилегающей к рассматриваемым шинам, в возникающем при успешном АПВ неполнофазном режиме, или недопустимо для системы или отдельных генераторов несинхронное включение.

Рассматриваемое запрещение АПВ осуществляется с помощью специальных органов напряжения, установленных на каждой системе шин

и состоящих из двух максимальных реле напряжения (1РН-4РН), включенных на междуфазные напряжения. Напряжение срабатывания указанных реле принимается порядка (0,3-0,4) $U_{ном}$.

Для запрещения АПВ предусмотрена отдельная группа выходных промежуточных реле 24РП - 29РП.

На те же промежуточные реле подается сигнал запрещения АПВ от УРОВ при коротких замыканиях в автотрансформаторах, сопровождающихся отказами их выключателей.

8. Ниже рассматривается действие схемы при двух случаях коротких замыканий на шинах.

а) Несимметричное неустойчивое короткое замыкание на I системе шин и отказ неповрежденных фаз выключателя одного из присоединений.

В этом случае срабатывает реле тока 1РТТ-3РТТ пускового органа и реле тока РТБ избирательного органа. Срабатывают реле - повторители РЗ и РТ магнитоэлектрических реле. При этом от выходных промежуточных реле 3РП-5РП производится отключение всех питающих элементов I системы шин. Пусковой орган защиты возвращается в исходное положение.

При срабатывании реле 9РП происходит срабатывание и удерживание в сработавшем состоянии реле 17РП. Таким образом, осуществляется фиксация (запоминание) на определенное время действия защиты на отключение поврежденной системы шин.

При срабатывании реле 17РП осуществляется запуск реле времени 2РВ, а также срабатывают реле 20РП и 21РП, изменяющие характеристику срабатывания реле тока 1РТТ-3РТТ пускового органа.

Через время, равное выдержке времени временно замыкающего контакта $2РВ_2$ реле времени 2РВ (порядка 1 сек.), пускается реле 23РП. Поскольку на I системе шин имеется напряжение, так как отказали неповрежденные фазы одного из выключателей, то оба реле напряжения 1РН и 2РН или одно из них находится в сработавшем состоянии (в зависимости от того, какие фазы охвачены повреждением и в каких отказал выключатель). При срабатывании реле 23РП посылается сигнал на промежуточные реле 24РП-26РП, запрещающие АПВ всех питающих элементов. С выдержкой времени замыкающего контакта $2РВ_1$ реле времени 2РВ

схема возвращается в исходное положение (контакт $22РП_1$). К моменту включения первого элемента цепь запрещения АПВ через контакты реле напряжения должна быть разомкнута. При невыполнении указанного будет иметь место ложное запрещение АПВ элементов, включаемых после первого элемента. В связи с этим указанная цепь контролируется контактом $23РП_2$, а не $19РП_2$.

б) Устойчивое короткое замыкание на II системе шин.

От выходных промежуточных реле 10РП-12РП отключаются все питающие элементы II системы шин.

При срабатывании реле 16РП, срабатывает и удерживается реле 18РП, а также запускается реле времени 2РВ и срабатывают реле 20РП и 21РП.

При включении первого элемента на устойчивое короткое замыкание срабатывают пусковой и избирательный органы защиты. Производится отключение элемента, включаемого первым. Сигнал на отключение подается выходными промежуточными реле 10РП-12РП. Производится также запрещение АПВ всех элементов, присоединенных ко II системе шин. Указанное осуществляется при срабатывании промежуточных реле 27РП--29РП. Цепь на срабатывание указанных реле образуется контактами $19РП_2$ и $16РП_3$.

9. Схема содержит устройство контроля исправности вторичных цепей трансформаторов тока и вторичных цепей промежуточных трансформаторов тока. Реагирующим органом устройства является реле тока Р1, входящее в комплект КРТ (см. гл.первая, п.4). Реле-повторителем контактов магнитоэлектрического реле является реле Р4, входящее в комплект КРП (см. гл. первая, п.6). Реле контроля реагирует на обрыв одной, двух и трех фаз.

Устройство контроля действует с выдержкой времени (реле ТРВ) на сигнал и выведение защиты из работы.

10. В схеме предусмотрено устройство, снимающее оперативный ток с выходных реле защиты шин на определенное заранее заданное время при опробовании рабочих и обходной систем шин, соответственно, шиносоединительным или обходным выключателем.

При наличии в схеме указанного устройства в случае, если при

повреждении на опробуемой системе шин выключатель, которым производится опробование, откажет, а дежурный задержит ключ управления во включенном положении, предотвращается возможность ликвидации рассматриваемого повреждения защитами, установленными с противоположных концов элементов, присоединенных к шинам, и обеспечивается отключение повреждения защитой шин.

Рассматриваемое устройство содержит промежуточные реле 3IРП и 32РП и реле времени 3РВ. С помощью контактов реле 3IРП и 32РП снимается оперативный ток с выходных промежуточных реле 3РП-16РП. Контактами реле времени шунтируются контакты реле 3IРП и 32РП. Реле времени запускается при срабатывании пускового органа защиты. Выдержка времени реле 3РВ принимается порядка 0,3-0,4 сек.

В целях предотвращения выведения защиты шин при многократном опробовании обходного или шиносоединительного выключателя после ревизии, а также при частых операциях с обходным выключателем, когда он заменяет выключатель присоединения, в схеме предусмотрены отключающие устройства 2Н и 3Н, шунтирующие, соответственно, контакты реле 3IРП и 32РП.

II. В схеме предусмотрено отключение с выдержкой времени от пускового органа обеих систем шин (реле времени 4РВ). Указанное необходимо в связи с тем, что избирательный орган может отказать при повреждении одновременно на обеих системах шин (при близких значениях дифференциальных токов I и II системы шин). В цепи обмотки реле времени 4РВ предусмотрены размыкающие контакты выходных промежуточных реле ($3РП_5$ и $10РП_5$). Этим предотвращается отключение обеих систем шин до действия УРОВ в случае к.з. на одной из систем шин с отказом выключателя, присоединенного к ней элемента.

Выдержка времени реле 4РВ принимается порядка 0,5 сек.

I2. Для выведения защиты из работы (например, при операциях в токовых цепях, при появлении сигнала о неисправности цепей переменного тока защиты и др.) предусмотрена накладка 1Н.

I3. В схеме установлено реле 2РП типа РП-252, сигнализирующее исчезновение оперативного тока. Выдержка времени при возврате реле требуется для отстройки от кратковременного исчезновения постоянного тока. Реле 2РП контролирует также положение испытательного

блока 24БИ, накладки 1Н и размыкающих контактов реле 1РП.

14. В схеме предусмотрен контроль положения реле 20РП и 21РП. Для этой цели контакты указанных реле включены в цепь обмотки реле 1РВ. Рассматриваемый контроль выполнен для предотвращения действия защиты на отключение при внешних повреждениях в случае, если реле 20РП и 21РП будут находиться в сработавшем состоянии, что возможно, например, из-за невозврата реле 17РП, 18РП, 20РП и 21РП при повреждениях на защищаемых шинах.

Время срабатывания реле 1РВ должно приниматься бо́льшим времени срабатывания реле 2РВ для исключения ложного сигнала неисправности в цепях защиты при повреждении на шинах.

15. В данной схеме в цепи обходного выключателя предусмотрены два промежуточных трансформатора тока (20ТТП и 21ТТП). Трансформатор тока 20ТТП используется при замене обходным выключателем выключателя элемента, присоединенного к I системе шин и 21ТТП - ко II системе шин. Приключение промежуточных трансформаторов тока к защите осуществляется с помощью испытательных блоков, соответственно, 20БИ и 22БИ.

Использование двух промежуточных трансформаторов тока (а не одного) позволяет упростить операции с испытательными блоками при замене выключателя присоединения обходным.

В нормальном режиме работы (обходной выключатель не используется) у испытательных блоков 20БИ-23БИ сняты рабочие крышки.

При замене выключателя элемента I системы шин вставляются рабочие крышки в испытательные блоки 20БИ и 21БИ (в блоках 22БИ и 23БИ рабочие крышки сняты); при замене выключателя II системы шин вставляются рабочие крышки в испытательные блоки 22БИ и 23БИ (в блоках 20БИ и 21БИ рабочие крышки сняты).

16. Схема допускает возможность выполнения "перефиксации" при переводе присоединения с одной системы шин на другую. Для этой цели должны быть предусмотрены перемычки во вторичных цепях промежуточных трансформаторов тока, а также в выходных цепях защиты, переустановка которых осуществляется релейным персоналом. Перемычки должны быть предусмотрены в специальном шкафу на ОРУ и на ряде зажимов панели.

С этой целью также предусмотрены резервные цепи на отключение и на запрещение АПВ выключателя (рис. 4,г).

17. Испытательные блоки ИБИ-22БИ предусмотрены для возможности отсоединения вторичных цепей трансформаторов тока элемента, выключатель которого ремонтируется, от оставшейся в работе защиты шин.

Рис. 5. Принципиальная схема дифференциальной токовой с торможением защиты двойной системы шин 110-220 кв с фиксированным распределением элементов при использовании шиносоединительного выключателя в качестве обходного.

1. Рассматриваемая схема дана для меньшего числа линий, чем схема рис. 4 (четыре вместо шестнадцати).

В связи с указанным в данной схеме предусмотрено меньшее число выходных промежуточных реле.

2. Поскольку в данной схеме шиносоединительный выключатель может использоваться в качестве обходного, цепи переменного и постоянного тока указанного выключателя отличаются от таковых в схеме рис. 4.

Схема дана в двух вариантах: с установкой в цепи шиносоединительного выключателя трех комплектов промежуточных трансформаторов тока (7ТТП-9ТТП на рис. 5,а) или двух комплектов (7ТТП-8ТТП на рис. 5,е). Приключение промежуточных трансформаторов тока к защите осуществляется с помощью испытательных блоков. Использование нескольких комплектов промежуточных трансформаторов тока, как и в схеме по рис. 4, позволяет упростить операции с испытательными блоками.

В схеме по рис. 5,е несколько сложнее операции с испытательными блоками, чем в схеме по рис. 5,а. Однако первая схема выпол-

нена с использованием двух промежуточных трансформаторов тока. В связи с этим схема по рис. 5,е может быть рекомендована в случаях, когда в дальнейшем предполагается развитие подстанции. При этом шиносоединительный выключатель превращается в обходной и дополнительно устанавливается шиносоединительный выключатель.

При наличии трех промежуточных трансформаторов тока в цепи выключателя 7В (рис. 5,а и в) производятся следующие операции испытательными блоками:

а) При использовании выключателя 7В в качестве шиносоединительного в испытательные блоки 11БИ и 12БИ должны быть вставлены рабочие крышки (у испытательных блоков 7БИ-10БИ сняты рабочие крышки).

б) При использовании выключателя 7В в качестве обходного с разделением систем шин при замене им выключателя присоединения I системы шин должны быть вставлены рабочие крышки в испытательные блоки 7БИ и 8БИ (у испытательных блоков 9БИ-12БИ сняты крышки); при замене выключателя одного из элементов, присоединенных ко II системе, должны быть вставлены рабочие крышки в испытательные блоки 9БИ и 10БИ (у испытательных блоков 7БИ, 8БИ, 11БИ и 12БИ сняты рабочие крышки).

в) При использовании выключателя 7В в качестве обходного без разделения систем шин должны быть вставлены рабочие крышки в испытательные блоки 7БИ и 8БИ (9БИ и 10БИ), у испытательных блоков 9БИ-12БИ (7БИ, 8БИ, 11БИ, 12БИ) сняты рабочие крышки).

При наличии двух промежуточных трансформаторов тока в цепи выключателя 7В (рис. 5,е и ж) производятся следующие операции испытательными блоками:

а) При использовании выключателя 7В в качестве шиносоединительного

- в блоках 8БИ, 10БИ и 11БИ вставлены рабочие крышки (у блоков 7БИ и 9БИ сняты крышки).

б) При использовании выключателя 7В в качестве обходного с разделением систем шин при замене им выключателя одного из элементов, присоединенных к I системе шин, должны быть вставлены

- в блоки 7БИ и 10БИ - рабочие крышки;

- в блок 9БИ - холостая крышка;
(у блоков 8БИ и 11БИ сняты крышки).

в) При замене выключателя одного из элементов, присоединенных ко II системе шин должны быть вставлены

- в блоки 8БИ и 9БИ - рабочие крышки;

- в блок 7БИ - холостая крышка (у блоков 10БИ и 11БИ - сняты крышки).

г) При использовании выключателя 7В в качестве обходного без разделения систем шин должны быть вставлены

- в блоки 7БИ и 10БИ (8БИ и 9БИ) - рабочие крышки;

- в блок 9БИ (7БИ) - холостая крышка;
(у блоков 8БИ и(10БИ) и 11БИ - сняты крышки).

Положение контактов испытательных блоков при снятой рабочей крышке показано в приложениях на рис. 5.

3. Рассматриваемая схема предназначена и для защиты одиночной секционированной системы шин по рис. 1,в (см. глава вторая, п.А,1).

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

Расчет дифференциальной токовой с торможением защиты шин 110-220 кв станций и подстанций.

А. Основные указания по расчету.

1. Расчеты данной защиты производятся с целью выбора параметров характеристики срабатывания пускового органа защиты, т.е. зависимости тока срабатывания от тока торможения, и с целью оценки чувствительности.

2. Зависимость первичного тока срабатывания $I_{с.з}$ пускового органа защиты от тока торможения $I_{торм}$ представляет собой прямую:

$$I_{с.з} = I_{с.з.0} + K_{торм} \cdot I_{торм} \qquad (1)$$

Значения коэффициента торможения $K_{торм}$ и первичного начального тока срабатывания $I_{с.з.0}$ (тока срабатывания по выражению (1) при $I_{торм}=0$) выбираются по двум условиям.

а) По условию отстройки от максимального тока небаланса при переходном режиме внешнего короткого замыкания

$$I_{нб.расч} = f_i \cdot I_{к.з.макс} \ , \qquad (2)$$

где $I_{к.з.макс}$ - периодическая слагающая (при $t=0$) максимально возможного первичного тока короткого замыкания, проходящего при внешнем повреждении по трансформаторам тока элемента, являющегося расчетным;

f_i - относительная суммарная погрешность трансформаторов тока и промежуточных трансформаторов тока, определяемая при токе $I_{к.з.макс}$.

Данное условие с учетом (1) и (2) выражается следующим образом:

$$I_{с.з.0} + K_{торм} \cdot I_{к.з.макс}\left(2 - f_i\right) = K_н \cdot f_i \cdot I_{к.з.макс}, \qquad (3)$$

где $K_н$ - коэффициент надежности отстройки, принимаемый равным 1,5.

В выражении (3) учтено, что при внешнем коротком замыкании ток торможения может быть принят равным $I_{к.з.макс}(2 - f_i)$.

б) По условию отстройки от максимального тока в дифференциальной цепи защиты при разрывах вторичных ее цепей в нагрузочном режиме $I_{нагр.макс}$, когда создающий торможение суммарный ток нагрузки $I_{\Sigma\ нагр}$ всех трансформаторов тока, кроме трансформатора тока с разрывом, минимален:

$$I_{с.з.0} + K_{торм}\ I_{\Sigma\ нагр} = K_н' \cdot I_{нагр.макс}\ , \qquad (4)$$

где $K_н'$ - коэффициент надежности отстройки, принимаемый равным 1,1 - 1,2.

При выборе параметров характеристики срабатывания пускового органа защиты по условиям "а" и "б" следует учитывать, что, в соответствии с техническими данными защиты, вторичный ток срабатывания органа $I_{о.с.р}$ ограничен снизу значением примерно $3a$, т.е.

$$I_{с.р.о} \geq 3a\ . \qquad (5)$$

Совместное решение уравнений (3) и (4) дает следующее выражение для выбора $I_{о.з.о.}$:

$$I_{с.з.о} = \frac{K_н' \cdot I_{нагр.макс} \cdot (2 - f_i) - K_н \cdot I_{\Sigma\ нагр} \cdot f_i}{2 - f_i - \frac{I_{\Sigma\ нагр}}{I_{к.з.макс}}}\ . \qquad (6)$$

Из (3) можно получить следующее выражение для $K_{торм}$, в котором $I_{с.зо}$ определяется по (6):

$$K_{торм} = \frac{K_н \cdot f_i - \frac{I_{с.з.о}}{I_{к.з.макс}}}{2 - f_i}\ . \qquad (7)$$

Следует отметить, что указанные при формулировании условий "а" и "б" виды расчетных режимов внешнего короткого замыкания и нагрузки элементов нельзя усмотреть из выражения (6). Объясняется это тем, что одним лишь параметром $I_{с.зо}$ нельзя определить характеристику срабатывания пускового органа защиты. Виды расчетных режимов для выбора $I_{с.зо}$ и $K_{торм}$ вытекают из выражений (3) или (7) и (4).

При определении режима внешнего короткого замыкания из выражения (3) или (7) должно учитываться дополнительно условие (5), согласно которому всегда $I_{с.з.о} > 0$. С учетом этого, как видно из

(7), расчетным является режим с наибольшим током внешнего короткого замыкания. Из этого же выражения видно, что если бы было $I_{с.зо} < 0$ расчетным был бы режим короткого замыкания с минимальным током короткого замыкания. Сказанное иллюстрируется на рис.6, где в системе координат $I_{торм}$, I_g указаны две расчетные точки - одна соответствует минимальному, другая максимальному токам внешнего короткого замыкания. Обе эти точки расположены на одной прямой линии, проходящей через начало координат и имеющей угол, тангенс которого равен $\frac{K_н \cdot f_i}{2 - f_i}$.

Рекомендуется для выбора параметров характеристики срабатывания пускового органа защиты, ввиду отсутствия достаточного опыта ее эксплуатации, использовать следующие упрощенные формулы, обеспечивающие по отношению к выражениям (6) и (7) значительный запас по условиям "а" и "б":

$$K_{торм} = \frac{K_н \cdot f_i}{2 - f_i} \quad ; \qquad (7а)$$

$$I_{с.з.о} = \left(K'_н - K_{торм} \right) \cdot I_{нагр.макс} \qquad (8)$$

Чтобы показать, что отстройка защиты от внешних коротких замыканий и разрывов в цепях трансформаторов тока по выражениям (7а) и (8) обеспечивает бо́льший запас, чем по выражениям (6) и (7), обратимся снова к рис.6. Из этого рисунка видно, что при любых $I_{с.зо} > 0$ тангенс угла наклона характеристики срабатывания, проходящей через расчетную точку отстройки защиты от внешних коротких замыканий (на рис.6 - линии II, проходящей через точку 2) меньше, чем тангенс угла наклона линии, проходящей через начало координат и ту же расчетную точку (линия 1). Первый из этих тангенсов есть $K_{торм}$ по формуле (7), а второй - $K_{торм}$ по формуле (7а). Следовательно, формула (7а) обеспечивает бо́льшее значение $K_{торм}$, чем формула (7).

Выражение (8) получено из (4) принятием $I_{\Sigma\ нагр} = I_{\ нагр.макс}$. Так как реально $I_{\Sigma\ нагр} > I_{нагр.макс}$, выражение (8) обеспечивает дополнительный запас отстройки от разрывов в цепях трансформаторов тока по отношению к выражению (4), а значит и по отношению к (6) и (7)

Если защита с параметрами, выбранными по (7а) и (8) не удовлетворяет требованиям чувствительности, следует произвести новый расчет по (6) и (7). При этом, если выражение (6) даёт значение $I_{с.з.о}$, противоречащее условию (5), то следует принять значение $I_{с.з.о}$, соответствующее $I_{с.ро}$= 3а, а затем по (7) определить расчетное значение $К_{торм}$.

Для принятой в заводской информации системы координат ($I_{торм} - I_д$), $I_д$ значения начального тока срабатывания $I'_{с.зо}$ и коэффициента торможения $К'_{торм}$ выражаются следующим образом:

$$I'_{с.з.о} = \frac{I_{с.з.о}}{1-К_{торм}} \quad , \quad К'_{торм} = \frac{К_{торм}}{1-К_{торм}} \; .$$

По $I'_{с.з.о}$ и $К'_{торм}$ производится настройка защиты.

3. Расчет чувствительности дифференциальной токовой с торможением защиты шин должен проводиться для следующих трех случаев:

а) короткого замыкания на шинах в одном из нормальных режимов работы шин, расчетном по чувствительности;

б) подачи напряжения на поврежденные шины включением первым питаемого элемента от устройства АПВ;

в) пуска устройства резервирования при отказе выключателей (УРОВ), когда место короткого замыкания на шинах питается только по элементу с отказавшим выключателем.

Расчеты чувствительности защиты для случая по п."а", являющиеся основными, значительно отличаются методически от расчетов для случаев "б" и "в". Поэтому они рассматриваются ниже отдельно. Расчеты же для случаев "б" и "в" аналогичны между собой.

4. При изложении указаний по оценке чувствительности, рассматривается та особенность новой дифференциальной защиты шин, что принципиально на условия ее работы при коротких замыканиях на шинах оказывает влияние нагрузка.

Это влияние выражается в том, что нарушается равенство геометрической и арифметической сумм токов элементов, присоединенных к поврежденным шинам, т.е. нарушается равенство между дифференциальным и тормозным токами в сторону большего или меньшего превышения тормозным током дифференциального.

Это, во-первых, - влияние тупиковой нагрузки, присоединенной к данным шинам. В качестве примера, на рис.7 показана векторная диаг-

рамма токов со стороны генераторов и со стороны оооощенной нагрузки при металлическом коротком замыкании между двумя фазами (ВС) на шинах. Из этой диаграммы видно, что вектора токов одноименных (поврежденных) фаз, проходящих по питающим элементам и нагрузке, различаются по углу, даже при металлическом коротком замыкании, а это означает, что арифметическая сумма токов одноименных фаз элементов больше геометрической суммы этих же токов.

Другая причина возможного расхождения по углу суммируемых в защите шин токов при коротких замыканиях на шинах - наличие угла между э.д.с. питающих элементов, создающее транзитную нагрузку. Указанное относится как к симметричным, так и несимметричным повреждениям.

При обычно проводящихся инженерных расчетах токов коротких замыканий для выбора параметров релейных защит тупиковая нагрузка и расхождение углов э.д.с. питающих элементов не учитываются. Не прибегая к точным расчетам (например, с использованием ЦВМ), оценить сколько-нибудь достоверно влияние нагрузки на дифференциальный и, особенно, тормозной токи затруднительно.

Указанные обстоятельства затрудняют выбор расчетной по чувствительности точки на плоскости ($I_{торм}$, I_g), соответствующей металлическому короткому замыканию.

Другая трудность оценки чувствительности защиты заключается в следующем.

После выбора расчетной по чувствительности точки на плоскости ($I_{торм}$, I_g) должно быть проверено то, что эта точка находится с требуемым запасом над характеристикой срабатывания.

Традиционный для защит с торможением способ оценки запаса чувствительности проведением прямой через расчетную точку, соответствующую металлическому короткому замыканию на шинах, и начало координат, для данной защиты является необоснованным. Этим способом отражается влияние переходного сопротивления в месте короткого замыкания, увеличение которого как бы влечет перемещение рабочей точки по прямой, соединяющей расчетную точку с началом координат. При этом предполагается, что тормозной и дифференциальный токи уменьшаются пропорционально. Однако, при коротких замыканиях на шинах, как правило, столь большие переходные сопротивления, чтобы вызвать заметное изменение токов короткого замыкания по отношению к расчетным,

маловероятны. Они представляют собой либо сопротивление заземления конструкций подстанции, значительно меньшее сопротивления заземления опор линий, либо сопротивление дуги. Как показали расчеты с помощью известных из литературы формул для сопротивления дуги в зависимости от тока в ней, дуговые переходные сопротивления лишь незначительно перемещают положение рабочей точки в координатах характеристики срабатывания пускового органа защиты по сравнению с рабочей точкой, соответствующей металлическому короткому замыканию на шинах.

Но если бы значительные переходные сопротивления и возникли, то $I_{торм}$ и $I_д$ изменялись бы не пропорционально. Соответствующая точка в системе координат ($I_{торм}$, $I_д$) при предполагаемом увеличении переходного сопротивления в месте короткого замыкания перемещается не по прямой в начало координат, а более сложным образом к точке с нулевым дифференциальным током и тормозным током, равным удвоенному току нагрузки. Действительно, в пределе углы между токами одноименных фаз элементов оказываются сдвинутыми на 180^0($R_п = \infty$)

При оценке запаса по чувствительности данной защиты необходимо, в первую очередь, кроме влияния нагрузки, учитывать погрешности расчета токов коротких замыканий и характеристики срабатывания, а не переходные сопротивления.

Отношение же ординаты расчетной точки к ординате точки пересечения характеристики срабатывания с прямой, проведенной через расчетную точку и начало координат, определяет лишь кратность тока в реле по отношению к току его срабатывания при металлическом коротком замыкании, а не запас защиты по чувствительности.

5. Учитывая сказанное в п.4, в данной работе принят следующий способ оценки запаса чувствительности защиты (см.рис.8).

Для определения расчетной точки по чувствительности в плоскости ($I_{торм}$, $I_д$) дифференциальный и тормозной токи оба принимаются равными току в месте металлического короткого замыкания в расчетных по чувствительности условиях, определённому без введения в расчетную схему тупиковой нагрузки и без учета расхождения по углу э.д.с. питающих элементов. Запас же с целью учета влияния на работу защиты

нагрузки, погрешностей расчета токов коротких замыканий, погрешностей характеристики срабатывания и возможных переходных сопротивлений ввиду неопределенности грани срабатывания защиты оценивается отношением ординаты расчетной точки в системе координат ($I_{торм}$, $I_д$) к ординате характеристики срабатывания при том же тормозном токе. Соответствующий этому ток срабатывания защиты считается наиболее представительным. Условность данного способа оценки чувствительности компенсируется тем, что минимально требуемый коэффициент чувствительности принят равным 2-2,5 , несмотря на отмеченную выше малую вероятность значительных переходных сопротивлений при коротких замыканиях на шинах.

Для случая отсутствия транзитной нагрузки допустимо принимать минимальное значение коэффициента чувствительности равным 2-м.

Влияние тупиковой нагрузки ведет к увеличению не только тормозного, но и дифференциального токов. При этом перемещение рабочей точки под влиянием тока тупиковой нагрузки относительно рекомендуемой расчетной по чувствительности точки в системе ($I_{торм}$, $I_д$) происходит под таким углом, что при практически наиболее возможных значениях коэффициента торможения чувствительность для новой рабочей точки оказывается несколько большей, чем для рекомендуемой расчетной точки (при оценке чувствительности согласно рекомендуемому в настоящем пункте способу). Указанное подтверждается и векторной диаграммой рис.7, построенной для наиболее неблагоприятных, вряд ли возможных в практике условий. Для условий рис.7 $\frac{I_д}{I_{торм}} \approx 0,9$ при учете нагрузки для фазы В.

Поэтому для случая с отсутствием транзитной нагрузки на подстанции с коэффициентом торможения $K_{торм}$ защиты ниже порядка 0,2 требуемое значение $K_ч = 2$ содержит некоторый запас.

Верхний отмеченный выше предел минимально требуемого коэффициента чувствительности (2,5) относится к случаям с расхождением

по углу э.д.с. питающих элементов, близким к предельному по статической устойчивости, когда имеет место значительное превышение тормозного тока дифференциального и заметное снижение дифференциального тока.

При наиболее часто встречающихся углах расхождения э.д.с. питающих элементов на напряжении 110-220кв (20-40°) минимально требуемый коэффициент чувствительности рекомендуется принимать порядка 2,0.

Таким образом, в оольшинстве практических случаев требуется при принятом в данной работе способе оценки чувствительности защиты обеспечить коэффициент чувствительности порядка 2,0.

Следуст признать, что предлагаемый в настоящей работе способ оценки чувствительности защиты несовершенен. Но он признан на сегодняшний день, пока отсутствуют приемлемые аналитические инженерные методы учета влияния нагрузки на $I_{торм}$ и $I_{д}$, оправданным в тех случаях, когда нет возможности прибегнуть к расчету на ЦВМ. Из этого видно, что способ оценки чувствительности данной защиты нуждается в дальнейшей разработке.

При наличии соответствующей возможности, при значительных углах сдвига э.д.с. питающих элементов

рекомендуется проверять чувствительность защиты с использованием расчета токов короткого замыкания с помощью ЦВМ.

6. В данном пункте рассматривается расчет чувствительности пускового органа защиты для случая короткого замыкания на шинах в одном из нормальных режимов работы шин, расчетных по чувствительности.

С учетом сказанного выше в пункте 5 коэффициент чувствительг защиты при коротких замыканиях в расчетном нормальном режиме работы шин:

$$K_{ч} = \frac{\bar{I}_{к.з.\,мин}}{I_{с.з.0} + K_{торм} \cdot I_{к.з.\,мин}}, \qquad (9)$$

где: $I_{к.з.мин}$ – периодическая слагающая (при $t=0$) минимального первичного тока короткого замыкания на шинах, определенная оез учета нагрузки.

7. Условия расчета чувствительности защиты при подаче напряжения на поврежденные шины включением первым питающего элемента от устройства АПВ и при пуске УРОВ защитой шин (см.выше п.3) определяются следующими особенностями указанных режимов.

В рассматриваемых режимах тормозной ток может значительно превышать дифференциальный ток. Так, при наличии связи между поврежденной и неповрежденной системами (секциями) шин, как показано на рис.9а, дифференциальный ток определяется только током $I_к$ в месте короткого замыкания, взятым один раз. Этот же ток может входить в тормозной ток в пределе трижды (при $I_к'''$ =0 и $I_н$ =0). В свою очередь, в тормозной ток в этом случае дополнительно входит ток нагрузки $I_н$, присоединенной к неповрежденной системе (секции) шин, а этот ток может быть значительным.

При отсутствии связи между поврежденной и неповрежденной системами (секциями) шин в рассматриваемых режимах тормозной ток, кроме тока в месте короткого замыкания $I_к$, включает в себя также практически удвоенное значение тока нагрузки неповрежденной системы шин (рис.9,б). Ток $I_н$ может быть соизмеримым и даже большим тока $I_к$.

Таким образом, рабочая точка в системе координат характеристики срабатывания защиты в рассматриваемых режимах, как правило, лежит значительно правее линии $I_д = I_{торм}$, как показано на рис.10. Это резко ухудшает условия чувствительности защиты.

С другой стороны, как отмечалось в главе второй, предусматривается возможность изменять характеристику срабатывания пускового органа при срабатывании защиты с целью обеспечения чувствительности в рассматриваемых режимах подачи напряжения на шины при АПВ и пуска УРОВ. При выборе указанной измененной характеристики срабатывания принима"-ется во внимание, что рассматриваемые режимы в принципе несут опасность излишних срабатываний защиты по двум причинам - из-за токов небаланса, возрастающих под влиянием качаний в системе после отключения повреждения на шинах, и из-за внешних коротких замыканий на элементах неповрежденной системы шин. Эти излишние срабатывания влекут отключение неповрежденной системы шин. Ввиду кратковременности данных режимов, возможность излишних срабатываний из-за внешних коротких замыканий признана маловероятной. Поэтому измененная характеристика срабатывания пускового органа защиты практически выбирается

лишь по условию отстройки от качаний системы шин. При этом расчетная точка отстройки защиты от указанных качаний оказывается, чаще всего левее, чем расчетная точка проверки чувствительности в данных режимах, в соответствии со сказанным выше о соотношении тормозного и рабочего токов. Как следует из рис.10, при этом наличие торможения измененной характеристики может лишь понизить чувствительность защиты. К этому можно добавить, что учет факторов, вызывающих резкое увеличение тормозного тока в рассматриваемых режимах затруднителен по существу и требует трудоемких расчетов.

На основании сказанного рекомендуется при невозможности обеспечения чувствительности в рассматриваемых режимах при нормальной характеристике срабатывания защиты принимать измененную характеристику, вводимую после срабатывания защиты, без торможения, с током срабатывания.

$$I'_{с.з} = K_н \cdot f_i \cdot I_{кач.макс} \quad , \qquad (10)$$

где: $I_{кач.макс}$ - максимальный ток в трансформаторах тока защиты при качаниях в системе после отключения поврежденных шин.

Чувствительность же защиты в данных режимах, не зависящая от тока торможения, оценивается коэффициентом чувствительности

$$K_ч = \frac{I_{к.з.\,мин}}{I'_{с.з}} \qquad (11)$$

Минимальный коэффициент чувствительности по выражению (11) принят порядка 1,5.

Учитывая, однако, что торможение дает более надежный запас защиты по селективности, при невозможности сохранения нормальной характеристики в рассматриваемых режимах желательно проверить возможность использования измененной характеристики с уменьшением коэффициента торможения.

8. Из материала предыдущего пункта (см.также рис.9) следует, что при раздельной работе систем шин как одном из нормальных режимов, обеспечить чувствительность дифференциальной токовой с торможением защиты шин при коротких замыканиях на одной из систем шин затруднительно. Объясняется это значительным превышением тока торможения над дифференциальным током.

Режимы пуска УРОВ и подачи напряжения при АПВ являются вынужденными и поэтому потребовали специальной меры повышения чувствительности защиты - изменения ее характеристики при срабатывании защиты. Аналогичные изменения характеристики в режиме раздельной работы систем (секций) шин при применении дифференциальной с торможением защиты шин невозможны; в связи с этим применение указанного режима может ограничиваться условиями чувствительности.

9. Как следует из предыдущего, рассматриваемая защита характеризуется значительной зависимостью чувствительности от коэффициента торможения. Эта зависимость для минимально требуемого коэффициента чувствительности, наиболее часто используемого согласно рекомендациям п.5, равного 2, характеризуется графиком на рис.II.

Б. ПРИМЕР РАСЧЕТА
дифференциальной токовой с торможением защиты шин.

1. Ниже в качестве примера даны выбор параметров характеристики срабатывания, а также проверка чувствительности дифференциальной токовой с торможением защиты двойной системы шин 220 кв с фиксированным распределением элементов.

Для примера принято:

- максимальная относительная погрешность трансформаторов тока $f_i = 0{,}15$;
- максимальный ток нагрузки наиболее нагруженного элемента $I_{нагр.макс} = 600$а.
- минимальный ток однофазного короткого замыкания на шинах $I^{(1)}_{к.з.мин} = 4900$ а.

2. Значение коэффициента торможения $K_{торм.}$ реле тока 1РТТ- 3РТТ пускового органа определяется по условию отстройки от тока неоаланса, обусловленного погрешностью трансформаторов тока при внешних повреждениях по выражению (7,а) гл.третьей

$$K_{торм} \geq \frac{K_н \cdot f_i}{2 - f_i} = \frac{1{,}5 \cdot 0{,}15}{2 - f_i} \approx 0{,}12$$

Принимается $K_{торм} = 0{,}12$

где $K_н = 1{,}5$ - коэффициент надежности;

$f_i = 0{,}15$ - максимальная относительная погрешность трансформаторов тока;

3. Значение первичного начального тока срабатывания реле тока 1РТТ- 3РТТ пускового органа определяется по условию отстройки от максимального тока в рассматриваемых реле при разрывах вторичных цепей защиты по выражению (8) гл.третьей:

$$I_{с.з.о} \geq I_{нагр.макс} (K_н' - K_{торм}) =$$

$$= 600\ (1{,}1 - 0{,}12) \approx 600 \text{ а}$$

где: $I_{нагр.макс} = 600$а - максимальный ток нагрузки;

$K_н' = 1{,}1$ - коэффициент надежности.

4. проверяется чувствительность защиты по однофазному к.з. при минимальном токе короткого замыкания.

Коэффициент чувствительности для рассматриваемого случая определяется по выражению (9) главы третьей:

$$K_ч = \frac{I^{(1)}_{к.з.мин}}{I_{с.з.0} + K_{торм} \cdot I^{(1)}_{к.з.мин}} =$$

$$= \frac{4900}{600 + 0{,}12 \cdot 4900} = 4{,}1 > 2$$

С П Р А В К А

о рассмотренных патентных материалах.

При разработке типовых решений 407-0-103 " Принципиальные схемы и расчеты дифференциально-тормозной защиты шин напряжением 110 кв и выше" были рассмотрены патентные фонды на 1971г. следующих стран:

СССР	- по классу 21с,
Болгария	- по классу 21с,
Венгрия	- по классу 21с,
Польша	- по классу 21с.

Гл.инженер проекта

А.КОЖИН

ВЫПИСКА

из патентного формуляра инв: № 5439тм-т3 на "Принципиальные схемы и расчеты дифференциально-тормозной защиты шин напряжением 110 кв и выше".

Принципиальные схемные решения дифференциальной токовой с торможением защиты двойной системы шин 110-220 кв с фиксированным распределением элементов обладают патентной чистотой в отношении СССР, Болгарии, Венгрии, Польши.

Дата составления формуляра июня 1971г.

Цель проверки - новая разработка.

Составитель выписки Инженер Михайлова М.В.

Дата составления выписки июня 1971г.

gost.e-ecolog.ru

153.72-100экз. на бумаге,52экз. на кальке ЭСН.