

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
дополнительного профессионального образования

ПЕТЕРБУРГСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ  
(ФГАОУ ДПО «ПЭИПК»)

КАФЕДРА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, СЕТЕЙ И СИСТЕМ

С. А. Гондуров, Е. В. Илюхин, М. Г. Пирогов, А. Л. Соловьёв

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА  
СБОРНЫХ ШИН И ОШИНОВОК СТАНЦИЙ  
И ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 35–220 кВ  
ТЕРМИНАЛАМИ БМРЗ**

Методика расчёта

Санкт-Петербург  
2013

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
дополнительного профессионального образования  
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ  
(ФГАОУ ДПО «ПЭИПК»)

КАФЕДРА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, СЕТЕЙ И СИСТЕМ

С. А. Гондуров, Е. В. Илюхин, М. Г. Пирогов, А. Л. Соловьёв

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА  
СБОРНЫХ ШИН И ОШИНОВОК СТАНЦИЙ  
И ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 35–220 кВ  
ТЕРМИНАЛАМИ БМРЗ**

Методика расчёта

Санкт-Петербург  
2013

УДК 621.316.9 (075.9)  
ББК 31.27-05  
Д 50

Одобрено и рекомендовано к опубликованию Ученым советом института  
Протокол № 16 от 20 февраля 2013 г.

Научный редактор А.М. Александров, доцент кафедры РЗА ПЭИПК

**Дифференциальная токовая защита сборных шин и ошинок станций и подстанций напряжением 35–220 кВ терминалами БМРЗ: Методика расчёта/ С.А.Гондуров, Е.В. Илюхин, М.Г. Пирогов, А.Л. Соловьёв – СПб.: ПЭИПК, 2013. – 30 с.**

Работа соответствует требованиям ПУЭ и руководящим указаниям по релейной защите (выпуск 3) «Защита шин 6–220 кВ станций и подстанций». Работа написана с учетом специфики выполнения дифференциальной защиты шин на цифровых терминалах БМРЗ и опыта их эксплуатации.

При разработке настоящего документа учитывался подход и практика решений, принятых в отечественной электроэнергетике. Приведён пример расчета и выполнения параметров срабатывания дифференциальной токовой защиты шин.

Методические указания предназначены для специалистов проектных организаций, работающих в области релейной защиты и системной автоматики электрических станций, подстанций и сетевых предприятий. Данная работа будет полезна студентам высших и средних специальных учебных заведений электроэнергетического профиля, занимающихся изучением и проектированием устройств релейной защиты.

УДК 621.316.9(075.9)  
ББК 31.27-05

## 1. Введение

Электрическая энергия – это продукт высокоразвитого общества, и длительные перебои в электроснабжении потребителей приводят к серьёзному ущербу. Увеличение единичных мощностей энергоблоков электрических станций и использование трансформаторов большой мощности на распределительных подстанциях требует применения жестких мер по повышению надёжности электроснабжения потребителей. Сборные шины являются ответственными звеньями электрической сети, и к защите сборных шин предъявляются требования высокой чувствительности, надёжности, быстрей действия и селективности.

Выпуск новых терминалов релейной защиты и автоматики позволяет качественнее реализовать техническую задачу по повышению надёжности электроснабжения потребителей электрической энергией. Для правильной работы новых устройств релейной защиты персонал, обслуживающий терминалы, должен четко понимать принципы их построения, уметь правильно выбирать параметры срабатывания защит и правильно их настраивать, потому что «только правильная настройка реле превращает его в релейную защиту» [7].

В работе рассматриваются назначение, принципы действия и выполнение дифференциальной защиты шин (ДЗШ) и ошинок (ДЗО) напряжением 35–220 кВ. Приведены методические указания по расчетам уставок ДЗШ и ДЗО, выполненных на цифровых терминалах БМРЗ – НТЦ «Механотроника». При написании работы учтен опыт эксплуатации таких устройств и практическое применение технических решений, принятых в отечественной электроэнергетике и релейной защите.

Работа соответствует требованиям и рекомендациями ПУЭ [1] и руководящих указаний по релейной защите (выпуск 3) «Защита шин 6–220 кВ станций и подстанций» [2].

**Авторы выражают благодарность за ценный вклад в эту работу сотрудникам НТЦ «Механотроника»: Д.С. Василевскому, А.С. Ильинскому, И.А. Черкесовой, В.Н. Чепелеву и рецензенту – доценту кафедры РЗА ПЭИПК А.М. Александрову за ценные замечания и рекомендации.**

## 2. Обозначения и сокращения, принятые в работе

В настоящем стандарте приняты следующие обозначения и сокращения:

АПВ – автоматическое повторное включение  
АТ – автотрансформатор  
БТН – бросок тока намагничивания  
БМРЗ – блок микропроцессорный релейной защиты  
ВЛ – воздушная линия  
ДЗО – дифференциальная защита ошиновки  
ДЗТ – дифференциальная защита с торможением  
ДЗТ Ч – «чувствительный» орган ДЗТ  
ДЗШ – дифференциальная защита шин  
ДТО – дифференциальная токовая отсечка  
ИО – избирательный орган  
ИПБ – информационный признак блокирования  
КЗ – короткое замыкание  
ПО – пусковой орган  
ПС – подстанция  
ПТН – преобразователь «ток – напряжение»  
РЗ – релейная защита  
РПН – регулятор напряжения под нагрузкой  
СВ – секционный выключатель  
СШ – система шин  
ТТ – трансформатор тока  
УРОВ – резервирование при отказах выключателей  
ШСВ – шиносоединительный выключатель

### 3. Общие сведения о дифференциальной токовой защите шин

Дифференциальная токовая защита шин – это защита с абсолютной селективностью, суммирующая фазные токи всех присоединений защищаемой системы шин. При выполнении дифференциальной защиты шин ТТ всех присоединений устанавливаются за выключателями (рис. 3.1). Зона действия защиты ограничивается местом установки ТТ на присоединениях.

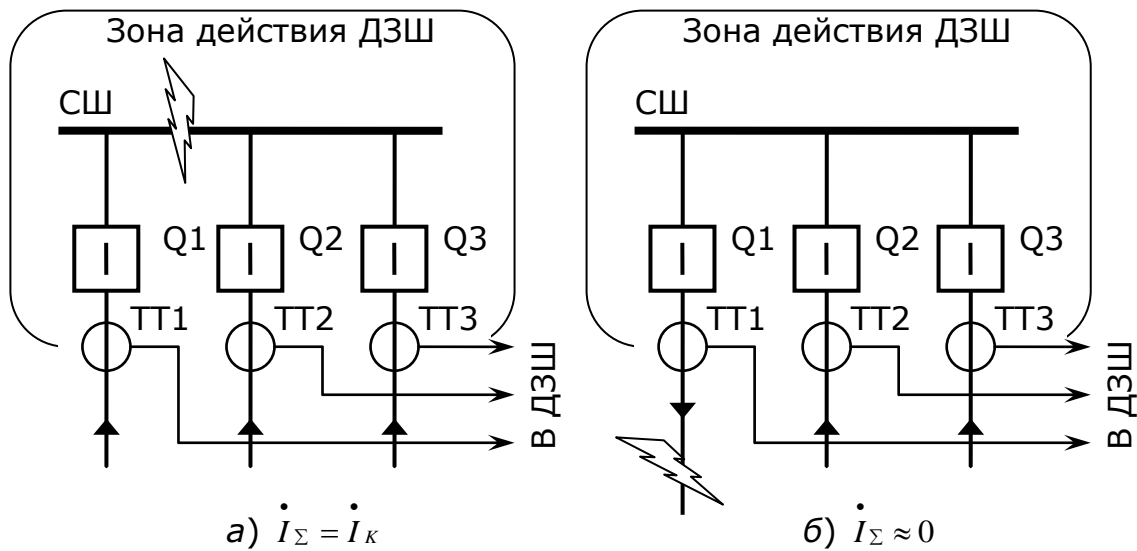


Рис. 3.1. Выполнение дифференциальной токовой защиты шин:

Электрическое присоединение к шинам называют «плечом» дифференциальной защиты. Для всех «плеч» защиты целесообразно применять ТТ с однотипными коэффициентами трансформации. При невыполнении этого условия при использовании ТТ с разными коэффициентами трансформации принимают меры по выравниванию токов «плеч» дифференциальной защиты шин. За положительное направление токов присоединений принимают направление токов в сторону защищаемого объекта.

При КЗ на шинах в зоне действия защиты суммарный вторичный дифференциальный ток будет равен току КЗ (рис. 3.1, а).

При внешнем КЗ дифференциальный ток будет равен току небаланса защиты (рис. 3.1, б). Токи небаланса обусловлены погрешностью первичных ТТ. Для повышения чувствительности защиты при дуговых КЗ применяют вторую ступень – дифференциальную защиту с торможением (ДЗТ).

### 4. Особенности дифференциальной защиты в терминалах БМРЗ

#### Цифровое выравнивание токов в «плечах» дифференциальной защиты

В блоках БМРЗ защиты шин и ошинок предусмотрено цифровое выравнивание токов «плеч» защиты. Это позволяет использовать ТТ присоединений с разными коэффициентами трансформации. Коэффициент цифрового выравнивания каждого присоединения  $K_{\text{ЦВП}}$  определяют по формуле

$$K_{\text{ЦВП}} = \frac{K_{\text{ТТ.П}}}{K_{\text{ТТ.БАЗ}}}, \quad (4.1)$$

где  $K_{ТТ.П}$  – коэффициент трансформации ТТ присоединения;  $K_{ТТ.БАЗ}$  – коэффициент трансформации ТТ базисного присоединения. За базисное присоединение выбирают присоединение с наибольшим номинальным первичным током ТТ.

Коэффициенты  $K_{ЦВП}$  присоединений принимают значения в диапазоне, указанном в руководстве по эксплуатации на терминал ([4], [5]). Если значения  $K_{ЦВП}$  выходят из соответствующего диапазона, то в качестве базисного присоединения может быть принято любое другое с  $K_{ЦВП}$  из заданного диапазона.

Действующее значение дифференциального тока  $I_{Д}$  терминал БМРЗ вычисляет суммированием токов всех «плеч»:

$$I_{Д} = \left| \sum_{П} \left( K_{ЦВП} \cdot \dot{I}_{П} \right) \right|, \quad (4.2)$$

где  $\dot{I}_{П}$  – вектор вторичного фазного тока присоединения, А.

Действующее значение тока торможения  $I_{Т}$  терминал БМРЗ вычисляет как полусумму действующих значений токов всех «плеч»:

$$I_{Т} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{П} \left( K_{ЦВП} \cdot \left| \dot{I}_{П} \right| \right). \quad (4.3)$$

### Выбор параметров трансформаторов тока и режима работы преобразователей «ток–напряжение» терминала

ТТ должны удовлетворять требованиям по их применению в цепях РЗ (в том числе и по условиям термической стойкости вторичных цепей) и должны быть проверены в соответствии с РД 153-34.0-35.301-2002 [3]. Полная погрешность ТТ при максимальном токе нагрузочного режима не должна превышать 10%.

Для работы в режимах КЗ внутри защищаемой зоны максимально допустимое значение тока измерительного канала  $i_{МАКС.ПТН}$  выбирают по условию:

$$i_{МАКС.ПТН} \geq k_{ПЕР} \cdot \frac{I_{К.МАКС}}{K_{ТТ}}, \quad (4.4)$$

где  $k_{ПЕР} = 2$  – коэффициент, учитывающий переходный режим (наличие апериодической составляющей тока);  $I_{К.МАКС}$  – периодическая составляющая максимального фазного тока КЗ (как правило, трехфазного металлического КЗ) внутри защищаемой зоны, протекающего через ТТ (в начальный момент времени КЗ), А;  $K_{ТТ}$  – коэффициент трансформации ТТ.

По таблице технических характеристик блока выбирают ПТН с ближайшим большим значением максимального допустимого входного тока терминала.

После выбора ПТН измерительных каналов необходимо удостовериться, что для каждого измерительного канала выполняется следующее соотношение:

$$0,5 \leq K_{ЦВ.П} \cdot \frac{I_{ПТН.П}}{I_{ПТН.БАЗ}} \leq 2, \quad (4.5)$$

где  $I_{ПТН.БАЗ}$  – значение  $i_{МАКС.ПТН}$  для присоединения, выбранного в качестве базисного;  $I_{ПТН.П}$  – значение  $i_{МАКС.ПТН}$  для рассматриваемого присоединения.

<sup>1)</sup> Соотношение (4.5) приведено в соответствие с [4]. Для иных исполнений БМРЗ соотношение (4.5) рекомендуется уточнять в соответствии с действующей эксплуатационной документацией.

## Общие сведения о работе дифференциальной токовой отсечки защиты шин

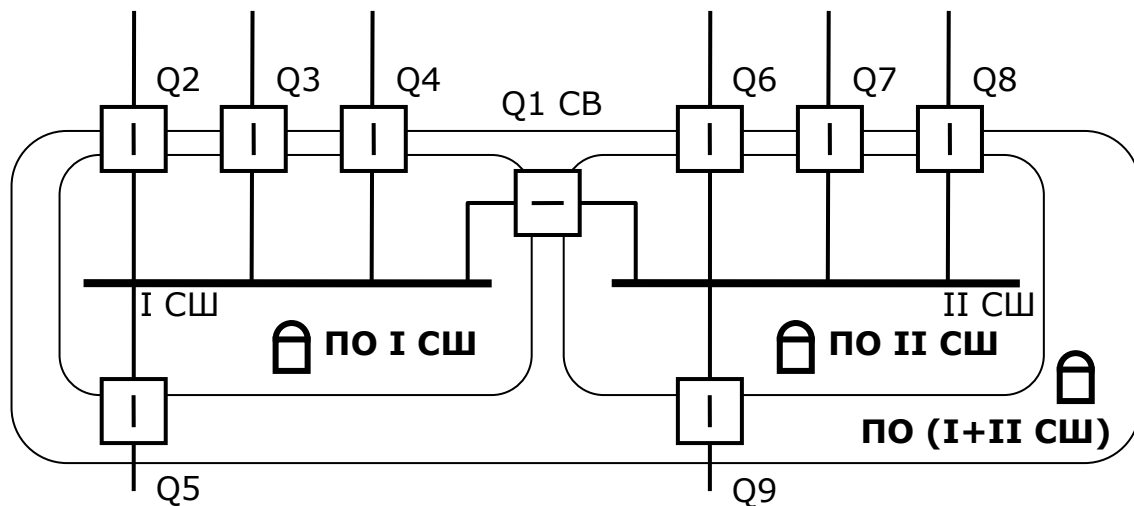
Дифференциальная токовая отсечка (ДТО) предназначена для быстрого и селективного отключения КЗ при больших значениях дифференциальных токов. ДТО как грубый орган дифференциальной защиты всегда применяется совместно с ДЗТ.

При превышении дифференциальным током уставки срабатывание ДТО происходит без выдержки времени и торможения.

Для системы шин, состоящей из двух секций, соединенных СВ, или двух шин, соединенных ШСВ, в блоках дифференциальной защиты шин предусмотрено три пусковых органа (ПО).

Зоны действия ПО I СШ и ПО II СШ (рис. 4.1) охватывают свои секции шин. Зона действия ПО (I СШ + II СШ) охватывает всю систему шин целиком.

При рабочей фиксации присоединений введены два пусковых органа ДТО с охватом соответствующих секций шин, действующих на селективное отключение поврежденной секции.




 – элемент защиты (пусковой орган, избирательный орган).

Рис. 4.1. Зоны действия пусковых органов ДТО

При нарушении рабочей фиксации присоединений, алгоритм, предусмотренный в терминале БМРЗ, выводит селективные органы ДТО ПО I СШ и ПО II СШ из работы, вводит пусковой орган ДТО ПО (I СШ + II СШ), охватывающий всю систему шин и отключающий ее при КЗ. Нарушение рабочей фиксации алгоритм терминала определяет по факту поступления сигнала на дискретный вход терминала «нарушение фиксации».

Эквивалентная схема работы пусковых органов ДТО (рис. 4.1) приведена на рис. 4.2.



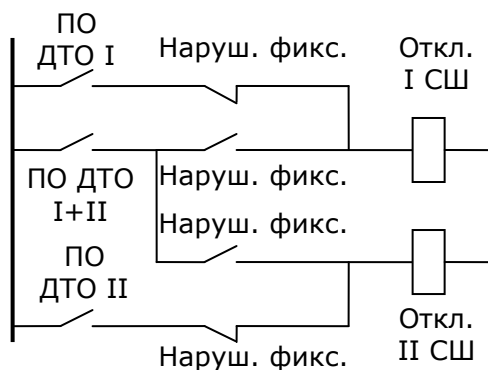


Рис. 4.2. Эквивалентная схема работы пусковых органов ДТО

В блоках БМРЗ, предназначенных для дифференциальной защиты ошиновки, предусмотрен один пусковой орган ДТО с зоной действия, охватывающей всю ошиновку.

### Общие сведения о работе дифференциальной защиты шин с торможением

ДЗТ предназначена для отключения всех видов КЗ, в том числе и дуговых через большое переходное сопротивление, в зоне действия защиты. ДЗТ работает с более высокой чувствительностью, чем ДТО. ДЗТ системы сборных шин выполнена с использованием пускового органа ПО с зоной охвата всей системы шин и двух избирательных органов – ИО I СШ и ИО II СШ – охватывающих секции шин по отдельности (рис. 4.3). Для пускового и избирательных органов могут быть заданы собственные характеристики срабатывания. При сохранении рабочей фиксации присоединений пусковой и избирательные органы ДЗТ введены. При срабатывании пускового и одного из избирательных органов алгоритм защиты осуществляет селективное отключение поврежденной секции шин.

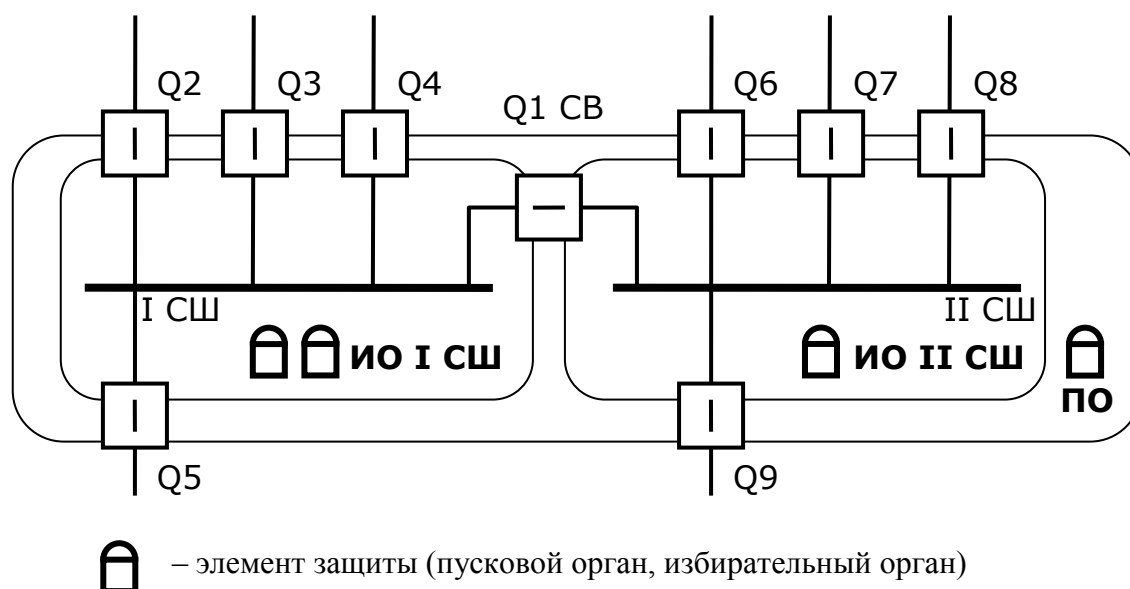


Рис. 4.3. Зоны действия пусковых и избирательных органов ДЗТ

При нарушении рабочей фиксации присоединений алгоритм, предусмотренный в терминале БМРЗ, выводит (шунтирует) селективные органы ИО ДЗТ, пусковой орган ПО ДЗТ обеспечивает отключение всей системы шин при КЗ (рис. 4.4).

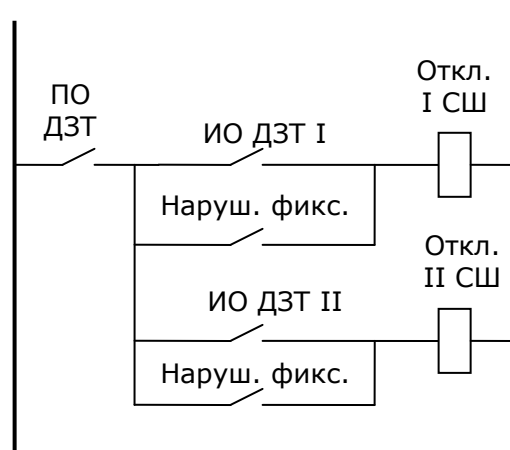


Рис. 4.4. Эквивалентная схема работы пусковых и избирательных органов ДЗТ

В блоках дифференциальной защиты ошиновки предусмотрен один пусковой орган ДЗТ, зона действия которого охватывает всю ошиновку.

Минимальный ток срабатывания избирательных органов отстраивают от тока небаланса, возникающего при обрыве вторичных цепей ТТ [1]. Отдельная ступень защиты при обрыве вторичных цепей ТТ действует на сигнализацию с выдержкой времени и может блокировать избирательные органы ДЗТ. При опробовании секции или шины в минимальном режиме (от одного питающего присоединения) токи КЗ на шине снижаются. Для обеспечения чувствительности защиты в этом режиме в блоке БМРЗ (предусмотрено алгоритмом) вводятся уставки защит с более высокой чувствительностью. В алгоритме терминала предусмотрено автоматическое введение в работу комплекта «чувствительных» органов при срабатывании основного комплекта на отключение. Такая особенность алгоритма обеспечивает «удержание» защиты в сработавшем состоянии при отключении мощных питающих присоединений и снижении тока КЗ.

## 5. Дифференциальная токовая отсечка и выбор параметров срабатывания ДТО

Уставку срабатывания ДТО всех пусковых органов выбирают по условию отстройки от расчётного максимального тока небаланса. Расчётным для определения максимального тока небаланса выбирают присоединение, ТТ которого имеет наибольшую погрешность при прохождении через него тока внешнего КЗ. Максимальный расчётный ток небаланса  $I_{\text{НБ.МАКС}}$  при максимальном токе внешнего КЗ определяют по формуле:

$$I_{\text{НБ.МАКС}} = (\varepsilon_{\text{МАКС}} \cdot k_a \cdot k_{\text{одн}} + \gamma) \cdot I_{\text{КЗ.МАКС}}, \quad (5-1)$$

где  $I_{\text{КЗ.МАКС}}$  – периодическая составляющая максимально возможного первичного тока КЗ (в начальный момент времени КЗ), проходящего при внешнем КЗ по ТТ присоединения, являющегося расчётным, А;  $\varepsilon_{\text{МАКС}}$  – максимальное значение полной погрешности ТТ расчётного присоединения (10% при выполнении требований [3])<sup>1)</sup>;  $k_a$

<sup>1)</sup> Для ТТ, выпущенных в соответствии с ГОСТ 7746-55, действительная кратность первичного тока, соответствующая 10% погрешности, может быть на 20 % ниже установленной заводом-изготовителем.

= от 2 до 4 – коэффициент, учитывающий апериодическую составляющую тока КЗ;  $k_{\text{одн}} = 0,5$  (для однотипных ТТ) или 1 (для разнотипных ТТ) – коэффициент однотипности ТТ;  $\gamma = 0,05$  – погрешность цифрового выравнивания токов «плеч».

Коэффициент  $k_a$  обусловлен повышенными требованиями к предельной кратности тока КЗ в случае наличия апериодической составляющей в токе [6]. Значение коэффициента  $k_a$  рекомендуется принимать тем больше, чем ближе реальная кратность тока КЗ к предельной кратности для рассматриваемого ТТ.

Уставку срабатывания ДТО  $I_{\text{ДТО}}$  вычисляют по формуле:

$$I_{\text{ДТО}} = K_{\text{Н}} \cdot I_{\text{НБ.МАКС}}, \quad (5.2)$$

где  $K_{\text{Н}} = 1,5$  – коэффициент надежности.

При выборе уставки срабатывания ДТО для режима опробования присоединения по схеме с «открытым плечом»  $I_{\text{ДТО ОПР}}$  рассматриваются два случая:

- при отсутствии силовых трансформаторов в зоне действия защиты загрузка ДТО в режиме опробования присоединений не требуется;
- при наличии силовых трансформаторов в зоне действия защиты уставку ДТО необходимо отстроить от максимального БТН силового трансформатора присоединения.

Для первого случая уставку  $I_{\text{ДТО ОПР}}$  принимают равной уставке срабатывания ДТО  $I_{\text{ДТО}}$ , вычисленной по формуле (5.2), т.е.  $I_{\text{ДТО ОПР}} = I_{\text{ДТО}}$ .

Во втором случае значение уставки  $I_{\text{ДТО ОПР}}$  определяют по формуле

$$I_{\text{ДТО ОПР}} = K_{\text{БТН}} \cdot I_{\text{НОМ}}, \quad (5.3)$$

где  $K_{\text{БТН}}$  – коэффициент броска тока намагничивания,  $K_{\text{БТН}} = 5$ ;  $I_{\text{НОМ}}$  – номинальный ток силового трансформатора, А.

В связи с тем, что ДТО является вспомогательным элементом ДЗТ [1], проверку по чувствительности ДТО не производят.

## 6. Дифференциальная токовая защита с торможением и выбор параметров срабатывания ДЗТ

Для упрощения расчета характеристики срабатывания избирательных и пускового органов выбирают аналогичными, а их уставки рассчитывают с использованием параметров всех присоединений, независимо от того, за какой секцией (первой или второй) шин они зафиксированы. Для ступени сигнализации небаланса при обрыве вторичных цепей ТТ уставку срабатывания также рассчитывают независимо от фиксации присоединений за той или иной секцией шин. Если требования по условиям чувствительности ДЗТ или по условиям отстройки сигнализации небаланса не выполняются, то выбор уставок пусковых и избирательных органов может быть осуществлен с учетом фиксации присоединений. При изменении рабочей схемы сборной системы шин необходимо выполнить расчет уставок, учитывающий другую фиксацию присоединений. На рис. 6.1 представлены характеристики ДЗТ и ДТО.

Уставку начального тока срабатывания органов ДЗТ  $I_{\text{ДЗТ НАЧ}}$  одиночной системы или двойной системы шин вычисляют по формуле

$$I_{\text{ДЗТ НАЧ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{НАГР.МАКС}}, \quad (6.1)$$

где  $K_{\text{ОТС}} = 1,2$  – коэффициент отстройки от дифференциального тока, возникающего при обрыве вторичных цепей ТТ;  $I_{\text{НАГР.МАКС}}$  – максимальный ток нагрузочного режима (первичный ток нагрузки базисного присоединения), А.

Максимальный ток небаланса в рабочем режиме  $I_{\text{НБ РАБ}}$  определяют по формуле

$$I_{\text{НБ РАБ}} = (\varepsilon_{\text{НАГР.МАКС}} + \gamma) \cdot I_{\text{НАГР.МАКС}}, \quad (6.2)$$

где  $\varepsilon_{\text{НАГР.МАКС}} = 0,1$  – наибольшая расчётная полная погрешность ТТ при максимальном токе нагрузочного режима;  $\gamma = 0,05$  – погрешность цифрового выравнивания токов «плеч».

Уставку срабатывания  $I_{\text{НБ СРАБ}}$  ступени ДЗШ, действующей на сигнализацию небаланса и блокирование ДЗШ при обрыве вторичных цепей ТТ, вычисляют по формуле

$$I_{\text{НБ СРАБ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{НБ РАБ}}, \quad (6.3)$$

где  $K_{\text{ОТС}} = 1,4$  – коэффициент отстройки;  $I_{\text{НБ РАБ}}$  – максимальный ток небаланса в рабочем режиме.

В результате превышения дифференциальным током уставки  $I_{\text{НБ СРАБ}}$  в течение времени, определяемого уставкой  $T_{\text{НБ}}$ , происходит блокирование ДТО и ДЗТ и срабатывает орган сигнализации.

Уставку по времени  $T_{\text{НБ}}$  следует определять исходя из условия отстройки от максимального времени действия резервных защит отходящих линий.

После расчета значения уставки срабатывания  $I_{\text{НБ СРАБ}}$  необходимо проверить выполнение условия

$$I_{\text{НБ СРАБ}} < 0,9 \cdot I_{\text{НАГР.МИН}}, \quad (6.4)$$

где  $I_{\text{НАГР.МИН}}$  – минимальное значение рабочего тока наименее мощного присоединения, А.

В случае, если условие (6.4) не выполняется, значение уставки  $I_{\text{НБ СРАБ}}$  необходимо определить исходя из опыта эксплуатации.

Коэффициент торможения  $K_{\text{Т}}$  торможения ДЗТ вычисляют по формуле

$$K_{\text{Т}} = \frac{I_{\text{ДТО}} - I_{\text{НБ РАБ}}}{I_{\text{КЗ.МАКС}} - I_{\text{НАГР.МАКС}}}. \quad (6.5)$$

Полученное значение коэффициента торможения применяют для пускового и избирательных органов ДЗТ.

Для надежной работы защиты при КЗ в зоне её действия значение коэффициента  $K_{\text{Т}}$  должно быть не более 1,9. Если расчетное значение  $K_{\text{Т}} > 1,9$ , необходимо принять меры по уменьшению погрешности измерительных ТТ, обусловленной током  $I_{\text{КЗ.МАКС}}$ , например, уменьшить сопротивление кабелей вторичных токовых цепей.

Определяем уставку срабатывания защиты по току начала участка торможения  $I_{\text{НТ}}$ , используя следующее выражение:

$$I_{HT} = I_{НАГР.МАКС} \cdot \left(1 + \frac{1,05}{K_T}\right)^1. \quad (6.6)$$

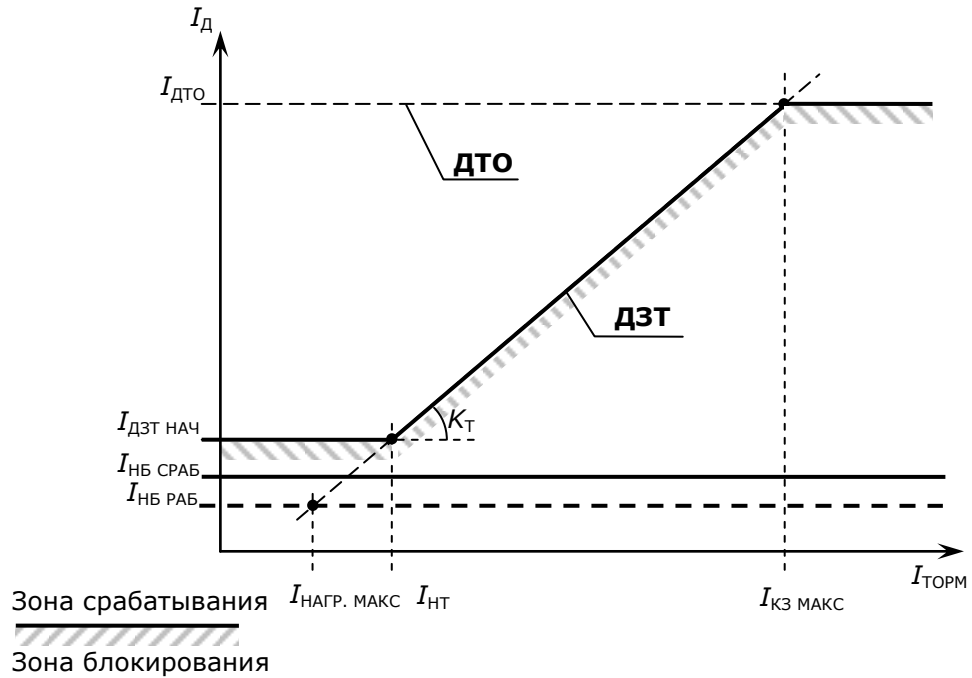


Рис. 6.1. Характеристики ДТО и ДЗТ

«Чувствительные» уставки, используемые при опробовании шин, отстраивают от тока небаланса ДЗТ обусловленного токами неотключаемых присоединений.

Отстройку выполняют с учетом тока самозапуска двигателей, броска тока намагничивания силовых трансформаторов, токов качаний или асинхронного хода, которые могут возникнуть между присоединениями системы (секции) шин.

Ток срабатывания  $I_{ДЗТ НАЧ. Ч}$  по условиям отстройки от неотключаемых присоединений определяют по формуле

$$I_{ДЗТ.НАЧ. Ч} = K_H \cdot \varepsilon_{НОМ} \cdot (K_{СЗП} \cdot I_{расч1} + K_{БТН} \cdot I_{расч2} + I_{расч3} + \dots), \quad (6.7)$$

где  $K_H = 1,5$  – коэффициент надежности;  $\varepsilon_{НОМ} = 0,1$  – полная погрешность ТТ, установленного на присоединении питания шин;  $K_{СЗП}$  – коэффициент самозапуска, учитывающий увеличение тока при самозапуске заторможенных двигателей. Значение коэффициента выбирают равным от 1,5 до 3 в зависимости от номинального пускового тока подключенных электродвигателей;  $K_{БТН} = 5$  – коэффициент броска тока намагничивания;  $I_{расч1}$  – расчетное значение рабочего тока неотключаемого присоединения, содержащего двигательную нагрузку с самозапуском заторможенных двигателей, А;  $I_{расч2}$  – расчетное значение рабочего тока неотключаемого присоединения, содержащего силовые трансформаторы, А;  $I_{расч3}$  – расчетное значение рабочего тока неотключаемого присоединения, не содержащего силовых трансформаторов и двигательной нагрузки с самозапуском, А.

<sup>1)</sup> Выражение (6.6) получено исходя из геометрических свойств характеристик, изображенных на рис. 6.1, а также выражений (6.1) и (6.2).

Ток срабатывания  $I_{\text{ДЗТ НАЧ. ч}}$  по условиям отстройки от токов качаний или асинхронного хода определяют по формуле

$$I_{\text{ДЗТ НАЧ. ч}} = K_{\text{Н}} \cdot \varepsilon_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{КАЧ}}, \quad (6.8)$$

где  $I_{\text{КАЧ}}$  – ток качаний или асинхронного хода, А.

В качестве уставки  $I_{\text{ДЗТ НАЧ. ч}}$  выбирают большее из значений, вычисленных по формулам (6.7) и (6.8). Коэффициент торможения  $K_{\text{Т ч}}$  принимают равным  $K_{\text{Т}}$ . Ток начала участка торможения «чувствительных» органов  $I_{\text{НТ ч}}$  принимают равным  $I_{\text{НТ}}$ .

### Проверка чувствительности ДЗТ

Коэффициент чувствительности ДЗТ рассчитывают по формуле:

$$K_{\text{ч НОРМ}} = \frac{I_{\text{КЗ МИН}}}{I_{\text{ДЗТ НАЧ}}}, \quad (6.9)$$

где  $I_{\text{КЗ МИН}}$  – периодическая составляющая тока металлического КЗ (в начальный момент времени КЗ) в минимальном режиме работы, А.

Расчетное значение коэффициента чувствительности при работе защиты в штатном режиме должно быть более 2 [1]. В режиме опробования системы шин - значение коэффициента чувствительности защиты должно быть более 1,5 [1].

Если расчетное значение коэффициента чувствительности не соответствует требованиям, приведенным в ПУЭ [1], необходимо принять меры, способствующие уменьшению уставки  $I_{\text{ДЗТ НАЧ}}$  ( $I_{\text{ДЗТ НАЧ. ч}}$ ).

## 7. Отключение выключателей по сигналу УРОВ от внешних устройств

Алгоритм УРОВ предназначен для отключения КЗ, сопровождающихся отказом выключателей или защит участка, на котором выявлено КЗ. Для сборных шин УРОВ должен действовать в соответствии с рекомендациями, приведенными в [8] – отключать систему (секцию) шин при КЗ на отходящем присоединении либо на соседней системе (секции) шин при отказе выключателя на поврежденном присоединении.

Например, при отказе выключателя  $Q5$  (рис. 7.1) происходит отключение по сигналу УРОВ всех остальных выключателей первой секции шин:  $Q1$  СВ,  $Q2$ ,  $Q3$ ,  $Q4$ . Пуск УРОВ происходит от защит всех присоединений. Функция УРОВ входит в состав автоматики управления выключателем присоединения и при срабатывании формирует сигнал на вход приемника УРОВ («УРОВп») защиты шин.

В блоках БМРЗ защиты шин предусмотрены входы «УРОВп 1» и «УРОВп 2» для соответствующих секций (шин). Это обеспечивает УРОВ на отключение соответствующей секции при сохранении рабочей фиксации присоединений.

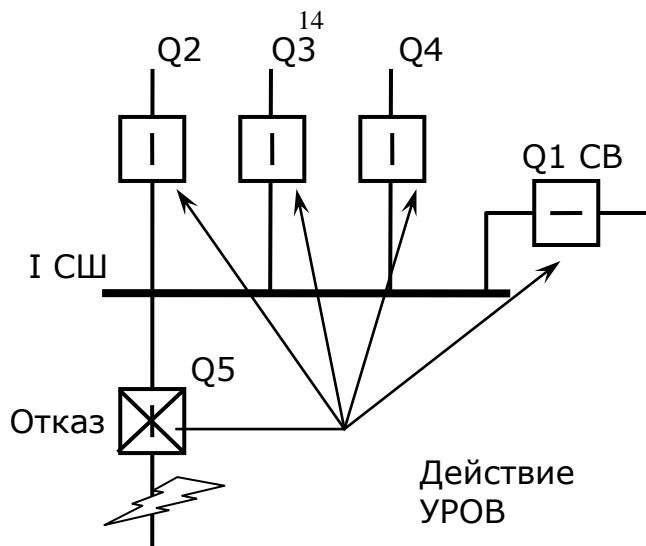


Рис. 7.1. Работы УРОВ при КЗ на присоединении

Сигнала «УРОВп 1» или «УРОВп 2» при нарушенной рабочей фиксации присоединений приводит к формированию сигналов на отключение всей системы шин (рис. 7.2).

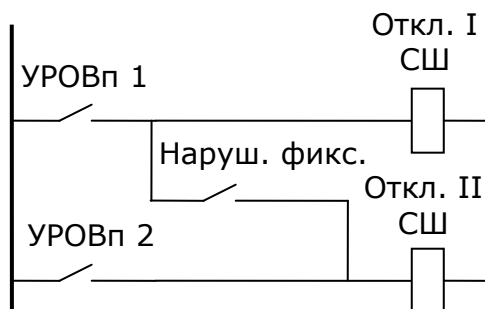


Рис. 7.2. Работа УРОВ с действием на отключение секций шин

Нарушение рабочей фиксации алгоритм терминала определяет по факту поступления сигнала на дискретный вход терминала «нарушение фиксации».

## 8. Работа защиты при КЗ в «мертвой» зоне между ТТ и СВ/ШСВ

При использовании выносных ТТ (см. *ТТ1* на рис. 8.1) на присоединении секционного или шиносоединительного выключателя КЗ в зоне между ТТ и выключателем (так называемой «мертвой» зоне) не может быть селективно отключено без выдержки времени. Это связано с тем, что без отключения СВ невозможно определить на какой из секций шин возникло КЗ как при использовании одного ТТ на СВ, так и при использовании двух ТТ. При выполнении схемы с одним ТТ ДЗШ сначала излишне отключает неповрежденную секцию, затем, при наличии КЗ, отключает поврежденную секцию (шину) с небольшой выдержкой времени.

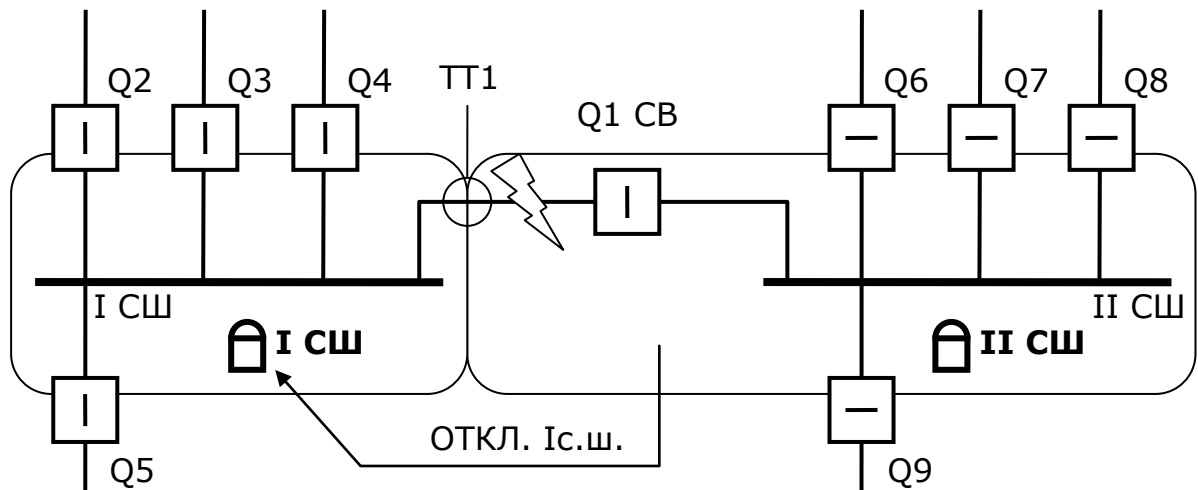


Рис. 8.1. Неселективное отключение точки КЗ в зоне между ТТ и СВ при использовании одного ТТ

Сохранение селективности действия защиты возможно при отключении СВ и введении задержки действия ДЗШ на отключение остальных присоединений. При этом «плечо» секционного выключателя дифференциальной защиты должно «открываться» после отключения секционного выключателя. Это приводит к изменению зоны охвата избирательного органа (рис. 8.2) и обеспечивает селективное отключение КЗ.

Для сохранения селективности задержка действия ДЗШ должна осуществляться при любом КЗ.

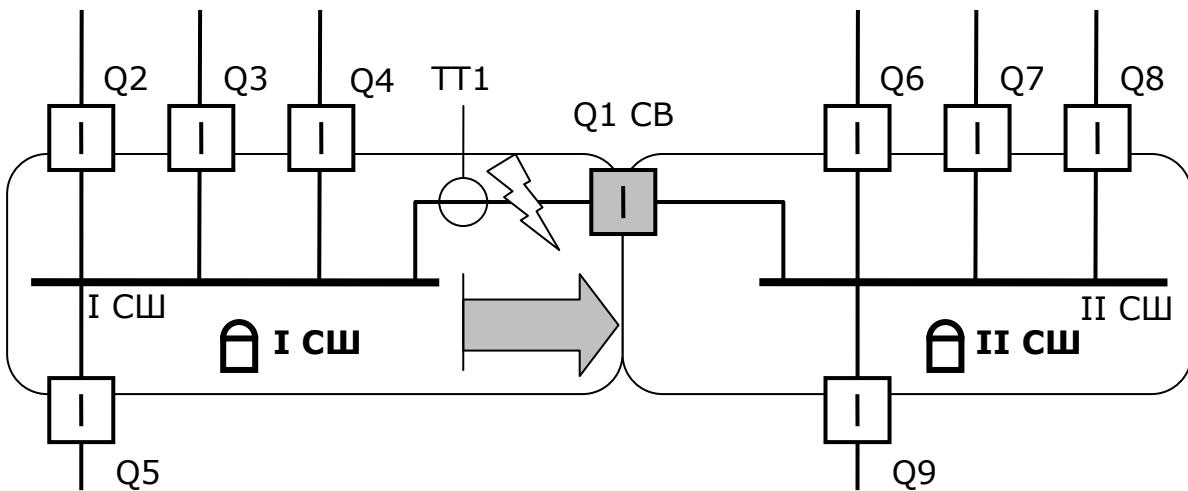


Рис. 8.2. Селективное действие защиты на отключение КЗ в зоне между ТТ и СВ с выдержкой времени при использовании одного ТТ

При выполнении схемы с двумя ТТ (см. *ТТ1* и *ТТ2* на рис. 8.3) КЗ в этой же точке приводит к срабатыванию обоих избирательных органов и неселективному отключению обеих секций шин без выдержки времени.



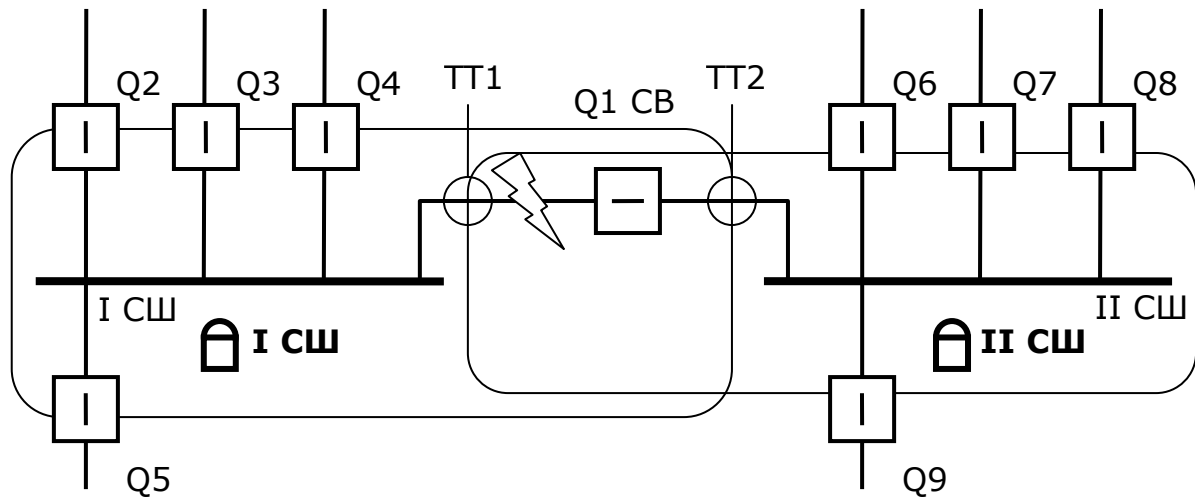


Рис. 8.3. Неселективное действие защиты на отключение КЗ в зоне между ТТ и СВ при использовании двух ТТ

Сохранение селективности действия защиты возможно только при условии предварительного отключения секционного выключателя СВ и введении задержки действия ДЗШ на отключение остальных присоединений. При этом «плечи» секционного выключателя дифференциальной защиты должны «открываться» после отключения СВ. Это приводит к изменению зон охвата избирательных органов (рис. 8.4), обеспечивая тем самым возврат избирательного органа неповрежденной секции шин и селективное отключение точки КЗ.

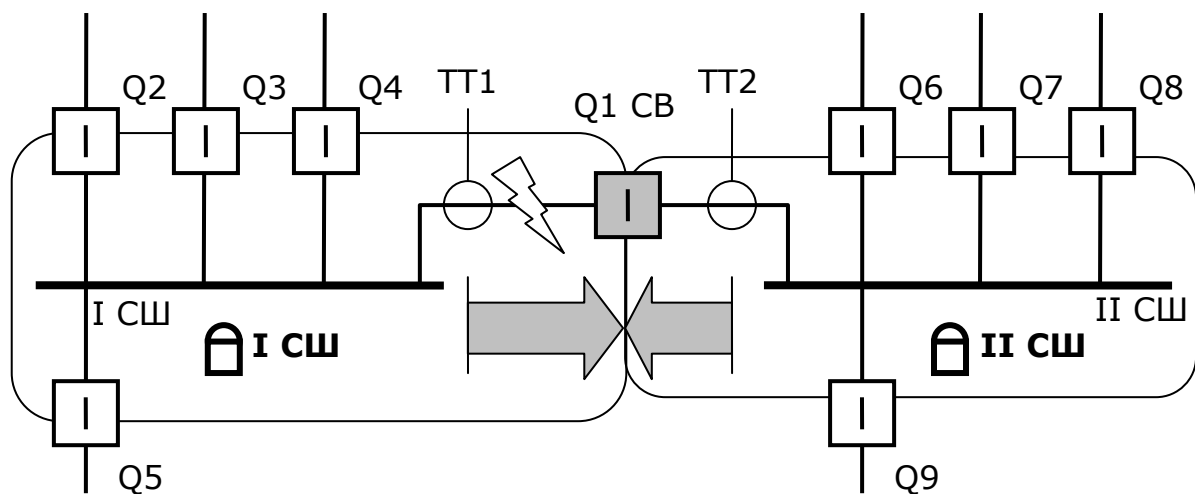


Рис. 8.4. Селективное действие защиты на отключения КЗ в зоне между ТТ и СВ с выдержкой времени при использовании двух ТТ

Задержка действия ДЗШ для сохранения селективности вводится автоматически только при возникновении рассматриваемых случаев КЗ, распознаваемых по факту срабатывания избирательных органов обеих секций системы шин.

Максимальное время действия защиты с предварительным отключением секционного выключателя (рис. 8.2, 8.4), учитывающее время срабатывания защиты, отключения выключателя и время возврата пускового органа неповрежденной секции, должно удовлетворять основным требованиям по времени отключения повреждений, включая требование минимизации области и степени повреждения элемента энергосистемы. Если данное требование не может быть удовлетворено, целесообразно предусмотреть неселективное отключение при КЗ в зоне между ТТ и СВ, учитывая

редкость случаев КЗ в «мертвой» зоне. В терминалах дифференциальной защиты шин БМРЗ, в зависимости от исполнения блока, могут быть реализованы различные варианты отключения КЗ в зоне между ТТ и СВ/ШСВ в соответствии со схемами, приведенными на рис. 8.1–8.4.

### Выбор уставок времени срабатывания защит

Время срабатывания защиты  $T_{\text{РЕЗ.СВ}}$ , необходимое для обеспечения селективности при КЗ в «мертвой зоне» СВ/ШСВ, при работе в соответствии с рис. 8.1, отстраивают от максимального времени отключения СВ  $T_{\text{СВ}}$  по формуле

$$T_{\text{РЕЗ.СВ}} = T_{\text{СВ}} + T_{\text{ПР}} + T_{\text{ВОЗВ}} + T_{\text{ЗАПАСА}}, \quad (8.1)$$

где  $T_{\text{ПР}}$  – время действия промежуточных реле;  $T_{\text{ВОЗВ}} = 0,03$  с – время возврата защиты;  $T_{\text{ЗАПАСА}} =$  от 0,01 до 0,03 с, время, учитывающее возможные дополнительные задержки.

Суммарное время, состоящее из выдержки  $T_{\text{РЕЗ.СВ}}$  и времени отключения выключателей присоединений (с учетом промежуточных реле) должно удовлетворять основным требованиям по времени отключения КЗ. Рекомендуемое значение уставки срабатывания  $I_{\text{МИН}}$  реле минимального тока выбирают 5...10 % от номинального тока ТТ присоединения. Выбранная уставка по току  $I_{\text{МИН}}$  должна быть выше нижней границы диапазона измерений выбранного ПТН:

$$I_{\text{МИН}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{МИН.ПТН}}, \quad (8.2)$$

где  $I_{\text{МИН.ПТН}}$  – нижняя граница диапазона контролируемых значений аналоговых входов по току, приводится в руководстве по эксплуатации на соответствующий блок БМРЗ, А.

В некоторых случаях минимальное значение уставки может быть ограничено по условиям отстройки от максимального емкостного тока, от токов через емкостные делители и т.д.

Выдержку времени  $T_{\text{СВ.ОТКЛ}}$  отключения ДЗШ, при предварительном делении системы шин путем отключения СВ/ШСВ в соответствии с рис. 8.2 и 8.4, определяют аналогично расчету выдержки времени  $T_{\text{РЕЗ.СВ}}$ .

Суммарное время, состоящее из выдержки  $T_{\text{СВ.ОТКЛ}}$  и времени отключения выключателей присоединений (с учетом времени действия промежуточных реле) должно удовлетворять требованиям по времени отключения КЗ.

## 9. Работа защит при опробовании шин и присоединений

В блоках ДЗШ и ДЗО предусмотрено выполнение различных (в зависимости от исполнения блока) режимов при опробовании шин и присоединений.

Опробование секции шин путем подачи напряжения от присоединения или соседней секции осуществляется при постановке секции шин под напряжение, в том числе и при выполнении АПВ. При наличии повреждения на опробуемой секции шин блок селективно отключает (по принципу действия защит) только опробуемую секцию шин без выдержки времени.

При опробовании секции шин ток КЗ может быть меньше расчетного значения, и опробование может выполняться с применением для опробуемой секции отдельной группы «чувствительных» пусковых органов.

При опробовании присоединения по схеме «закрытого плеча» путем подачи напряжения на присоединение от шины или секции шин дополнительно может вводиться выдержка времени действия защиты шин на отключение, что исключает излишнее отключение системы шин. При наличии повреждения на опробуемом присоединении отключение присоединения осуществляется защитой присоединения при минимальной выдержке времени.

При опробовании присоединения по схеме «открытого плеча» путем подачи напряжения на присоединение от шины или секции шин зона действия защиты расширяется на всё опробуемое присоединение (рис. 9.1), а ток, протекающий через опробуемое присоединение, вызывает увеличение дифференциального тока защиты. При срабатывании дифференциальная защита отключает только выключатель опробуемого присоединения.

При опробовании присоединений по схеме «открытого плеча» нагрузка на другом конце присоединения должна быть отключена.

Для ликвидации КЗ на шинах, которые могут возникнуть во время проведения опробования, время действия режима опробования присоединения по схеме «открытого плеча» ограничивается. В случае поступления сигнала УРОВ от присоединений режим опробования снимается без выдержки времени.

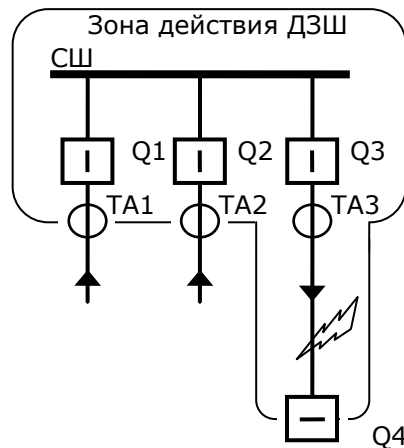


Рис. 9.1. Увеличение зоны действия защиты при опробовании присоединения по схеме «открытого плеча»

При опробовании присоединений шин по схеме с «открытым плечом» алгоритм ДТО обеспечивает отключение присоединений при КЗ с током большой кратности. При использовании данной схемы ток опробуемого присоединения исключается из расчёта. Дифференциальный ток будет примерно равен току опробуемого присоединения, поэтому необходимо отстроить уставку по току срабатывания ДТО от значения БТН силового трансформатора присоединения, если он находится в опробуемой зоне. При выполнении опробования присоединения по схеме «с открытым плечом» может происходить снижение чувствительности ДТО. При выполнении опробования присоединения от шин по схеме с «открытым плечом» ДЗТ остается в работе и обеспечивает отключение опробуемого присоединения. При выявлении БТН силового трансформатора, находящегося в зоне опробования, происходит блокирование ДЗТ. Максимальная длительность блокирования ДЗТ ограничена для исключения излишнего блокирования защиты. Блокирование ДЗТ при бросках тока намагничивания вводится только для режима опробования присоединения по схеме с «открытым плечом». Возврат режима опробования происходит только при отсутствии режима блокировки.

Выбор режима опробования с «открытым плечом» или с «закрытым плечом», выбор опробуемого присоединения осуществляются оперативно, подачей дискретных сигналов на соответствующие дискретные входы терминала.

Перечень специфических уставок, используемых в алгоритмах автоматике опробования шин и присоединений, в различных терминалах защиты может различаться в зависимости от функциональных возможностей терминала. Дополнительную информацию можно получить из [9].

## 10. Блокирование действия защиты при броске тока намагничивания силового трансформатора

При опробовании по схеме с «открытым плечом» присоединения, содержащего силовой трансформатор (автотрансформатор), при включении присоединения появляется бросок тока намагничивания магнитопровода трансформатора, который соизмерим с токами КЗ.

Отстройку ДТО от БТН в режиме опробования обеспечивают выбором уставки по току срабатывания.

Отстройку ДЗТ от БТН в режиме опробования обеспечивают с помощью алгоритма ИПБ.

Алгоритм ИПБ выявляет режим БТН и блокирует работу ДЗТ, исключая ложное срабатывание ДЗТ при включении трансформатора (автотрансформатора). Алгоритм ИПБ блокирует ДЗТ только при выполнении опробования присоединения с «открытым плечом» и не влияет на работу ДТО.

Количественным признаком БТН является наличие второй гармоники в дифференциальном токе. Известно [10], что в периодическом БТН доля второй гармонической составляющей около 15%. В аperiodическом БТН доля второй гармонической составляющей намного больше и составляет до 40 %.

В блоках ДЗШ и ДЗО вычисление параметра  $k_{\text{ИПБ}}$ , на основе которого работает алгоритм ИПБ, происходит по формуле

$$k_{\text{ИПБ}} = \frac{|I_{(100) \text{ диф}}|}{|I_{(50) \text{ диф}}|}, \quad (10.1)$$

где  $I_{(100) \text{ диф}}$  – действующее значение второй гармоники в дифференциальном токе, А;  $I_{(50) \text{ диф}}$  – действующее значение первой гармоники в дифференциальном токе, А.

Блокирование ДЗТ по соответствующей фазе происходит при превышении расчетным параметром  $k_{\text{ИПБ}}$  заданной уставки. Для исключения излишнего блокирования ДЗТ применяют ограничение времени действия алгоритма ИПБ (в зависимости от исполнения терминала). Максимально допустимое время действия алгоритма ИПБ задают уставкой  $T_{\text{ИПБ МАКС}}$ . По истечении заданного времени с момента возникновения БТН блокирование ДЗТ прекращается. Для повышения эффективности блокирования ДЗТ при возникновении периодических БТН применяют перекрестное блокирование (в зависимости от исполнения терминала). Перекрестное блокирование действует на все три фазных органа ДЗТ при срабатывании алгоритма ИПБ хотя бы в одном из них. Для исключения излишнего блокирования ДЗТ режим перекрестного блокирования вводится временно с момента срабатывания алгоритма ИПБ и действует до истечения времени, заданного уставкой  $T_{\text{ПБ ИПБ}}$ . По завершении заданного времени блокирование действует только пофазно.

Уставку срабатывания ИПБ  $k_{\text{ИПБ}}$  выбирают по условию срабатывания ИПБ при включении силового трансформатора на холостой ход и периодического БТН:

$$k_{\text{ИПБ}} = \frac{0,15 \cdot (1 + K_{\Gamma})}{K_{\text{ОТС}}}, \quad (10.2)$$

где  $K_{\Gamma}$  = от 0,2 до 0,65 – коэффициент гармонических искажений дифференциального тока,  $K_{\text{ОТС}}$  = от 1,1 до 1,5 – коэффициент отстройки.

Для силовых трансформаторов, группа соединения обмоток которых отличается от «0» или «6», необходимо выбирать минимальное значение коэффициента отстройки  $K_{\text{ОТС}}$  в связи с высокой вероятностью наличия периодических БТН. Значение уставки  $k_{\text{ИПБ}}$  рекомендуется уточнить по опыту эксплуатации с учётом специфических свойств конкретного объекта.

Уставку срабатывания  $T_{\text{ИПБ МАКС}}$  определяют по формуле

$$T_{\text{ИПБ МАКС}} = K_{\text{ОТС}} \cdot \tau \cdot \ln \left( \frac{K_{\text{БТН}} \cdot I_{\text{НОМ}}}{I_{\text{ДЗТНАЧ}}} \right), \quad (10.3)$$

где  $K_{\text{ОТС}}$  = от 1,15 до 1,30 – коэффициент отстройки;  $\tau$  – постоянная затухания БТН, с;  $K_{\text{БТН}} = 5$  – коэффициент БТН;  $I_{\text{НОМ}}$  – номинальный ток силового трансформатора, А;  $I_{\text{ДЗТНАЧ}}$  – начальный ток срабатывания ДЗТ, А.

Значение  $T_{\text{ИПБ МАКС}}$  рекомендуется уточнить по опыту эксплуатации с учётом специфических свойств конкретного объекта.

В соответствии с рекомендациями, приведенными в [11], постоянную затухания БТН определяют по одной из двух формул, приведенных ниже.

Если трансформатор (автотрансформатор) включают со стороны обмотки, соединенной в звезду, то используют формулу

$$\tau = \frac{x_{\text{С}} + x_{\text{В}}}{\omega \cdot (R_{\text{С}} + R_{\text{Т}})}. \quad (10.4)$$

При включении со стороны обмотки, соединенной в треугольник применяют формулу

$$\tau = \frac{3 \cdot x_{\text{С}} + x_{\text{В}}}{\omega \cdot (3 \cdot R_{\text{С}} + R_{\text{Т}})}. \quad (10.5)$$

В формулах применены следующие обозначения:  $x_{\text{С}}$  – реактивное сопротивление питающей сети, Ом;  $x_{\text{В}}$  – реактивное сопротивление первичной обмотки насыщенного трансформатора, принимаемое равным реактивному сопротивлению обмотки при замене стали воздухом (в (10.5) – для обмотки одного стержня), Ом;  $\omega$  – угловая частота сети, рад/с, ( $\omega = 2\pi f_{\text{С}}$ ,  $f_{\text{С}} = 50$  Гц – частота сети);  $R_{\text{С}}$  – активное сопротивление питающей сети, Ом (при отсутствии данных принимают равным  $0,1 \cdot x_{\text{С}}$ );  $R_{\text{Т}}$  – активное сопротивление обмотки, на которую подаётся напряжение при включении (в (10.5) – для обмотки одного стержня), Ом.

Реактивное сопротивление обмотки насыщенного трансформатора  $x_{\text{В}}$  определяют по формуле

$$x_{\text{В}} = x_{*\Gamma}^{(1)} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}}, \quad (10.6)$$

где  $x_{*\Gamma}^{(1)}$  – сопротивление трансформатора при однофазном включении, % ([12] – табл. ПВ-1). При отсутствии данных о значении  $x_{*\Gamma}^{(1)}$  для ориентировочных расчетов можно воспользоваться формулами из табл. 10.1;

$U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение стороны трансформатора, с которой производится включение, кВ;  $S_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность трансформатора, МВ·А.

Активное сопротивление обмотки трансформатора  $R_T$  при отсутствии паспортных данных может быть определено по формуле:

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P_{\text{КЗ}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2} \cdot 10^{-3}, \quad (10.7)$$

где  $\Delta P_{\text{КЗ}}$  – потери КЗ, кВт;  $U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение стороны трансформатора, с которой производится включение, кВ;  $S_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность трансформатора, МВ·А.

Значение сопротивления  $R_T$  рекомендуется уточнить, используя опытные данные о сопротивлении соответствующей обмотки постоянному току. Для силовых трансформаторов (автотрансформаторов) со схемой соединения обмоток «0» или «б» перекрестное блокирование необязательно, поэтому принимают  $T_{\text{ПБ ИПБ}} = 0$ . Для силовых трансформаторов, группа соединения обмоток которых отличается от «0» или «б», принимают  $T_{\text{ПБ ИПБ}} = T_{\text{ИПБ МАКС}}$ .

Значение  $T_{\text{ПБ ИПБ}}$  рекомендуется уточнять по опыту эксплуатации с учётом свойств конкретного объекта.

Таблица 10.1

Формулы для расчета  $x_{*T}^{(1)}$  (по [12], таблица ПУ-2)

Элемент	Мощность	Формула для расчета $x_{*T}^{(1)}$ , %
Трансформаторы 220 кВ	6,3 – 63,0 МВ·А	$\frac{12,7 + u_k}{1,35}$
	75 – 125 МВ·А	$\frac{21,4 + u_k}{1,35}$
Трансформаторы <sup>1)</sup> 110 – 330 кВ	Любой мощности при $u_{k \text{ ВН-СН}} > u_{k \text{ ВН-НН}}$ <sup>2), 3)</sup>	$3,7 + u_k$
	Любой мощности при $u_{k \text{ ВН-СН}} < u_{k \text{ ВН-НН}}$ <sup>4)</sup>	$\frac{13,9 + u_k}{1,38}$
Автотрансформаторы 220 кВ	32 – 63 МВ·А	$\frac{12,7 + u_k}{1,3}$
Автотрансформаторы 220–330 кВ	75; 120 – 180 МВ·А	$\frac{25,7 + u_k}{1,31}$
	200 – 240 МВ·А	$\frac{35 + u_k}{1,28}$
<p><sup>1)</sup> Включены со стороны среднего напряжения.</p> <p><sup>2)</sup> Значение <math>u_k</math> дано в процентах для среднего положения регулятора РПН.</p> <p>Для трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов соответствует наибольшему из напряжений КЗ между обмоткой, со стороны которой производится включение, и одной из двух других обмоток.</p> <p>Для автотрансформаторов должно быть приведено к проходной мощности автотрансформатора.</p> <p><sup>3)</sup> С обмотками среднего напряжения, расположенными под обмотками высшего и низшего напряжения.</p> <p><sup>4)</sup> С обмотками среднего напряжения, расположенными между обмотками высшего и низшего напряжения.</p>		

## 11. Выбор остальных уставок защит

В терминалах БМРЗ-ДЗШ и БМРЗ-ДЗО может использоваться ряд других уставок, обеспечивающих действие алгоритмов автоматики:

- $T_{\text{откл}}$  – время дополнительного удержания контактов выходного реле срабатывания защиты (отключения) в замкнутом состоянии после возврата защиты или иной причины отключения;

- $T_{\text{бл. АПВ}}$  – время дополнительного удержания сигнала блокирования АПВ с момента возврата выходного реле срабатывания защиты (отключения);

- $I_{\text{мин}}$  – уставка реле минимального тока.

Уставку  $T_{\text{откл}}$  определяют по характеристикам реле в цепях отключения выключателя и времени отключения выключателя. Рекомендуемое значение уставки  $T_{\text{откл}}$  – не менее 0,1 с.

В случае, если УРОВ выключателя не предусматривает контроль тока присоединения, необходимо согласовать уставку  $T_{\text{откл}}$  с уставкой по времени УРОВ.

Уставку  $T_{\text{бл. АПВ}}$  выбирают с учетом особенностей автоматики управления выключателем.

Реле минимального тока присоединений используют для удержания в замкнутом состоянии контактов выходного реле срабатывания защиты (отключения) при снижении тока КЗ после отключения одного из питающих присоединений.

## 12. Пример выполнения ДЗШ ПС-110 кВ «Северо-Запад»

Значения коэффициентов трансформации трансформаторов тока, используемых на присоединениях ПС-110 кВ «Северо-Запад» (рис. 12.1), приведены в табл. 12.1.

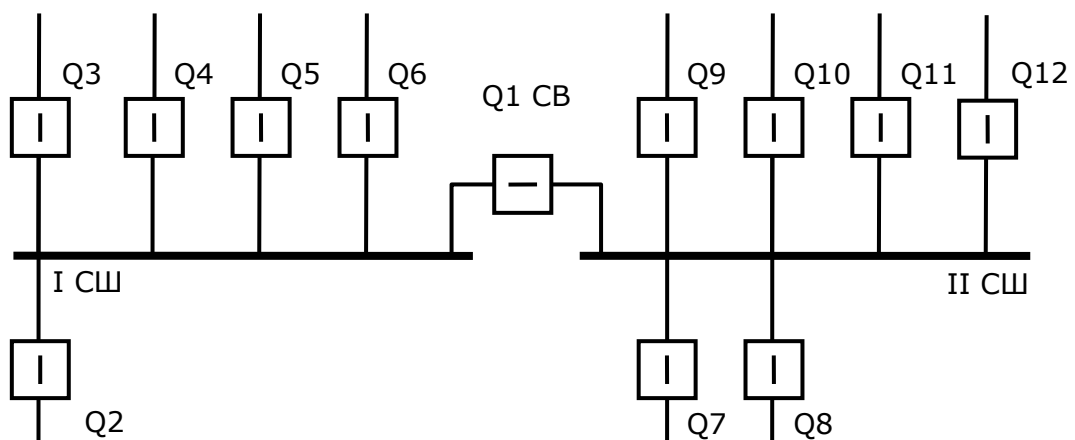


Рис. 12.1. Схема ПС-110 кВ «Северо-Запад»

Для всех присоединений допускается только один цикл работы алгоритма АПВ. Предусмотрено опробование систем шин от присоединений, а также присоединений от систем шин по схеме «закрытого плеча». Опробование присоединений по схеме «открытого плеча» не предусмотрено. Выключатели  $Q3$  и  $Q11$  двух присоединений (ВЛ-110 кВ «Восточная» и ВЛ-110 кВ «Западная») не должны отключаться по сигналу ДЗШ.

Таблица 12.1

Значения коэффициентов трансформации  $K_{\text{ТТ}}$  трансформаторов тока на присоединениях

Присоединение и выключатель	$K_{\text{ТТ}}$
Система шин I	
ВЛ-110 кВ «Центральная-1», $Q6$	600/5
ВЛ-110 кВ «Южная-1», $Q5$	600/5
ВЛ-110 кВ «Северная-1», $Q4$	600/5
ВЛ-110 кВ «Восточная», $Q3$	600/5
АТ-1 ПС-110 кВ «Северо-Запад», $Q2$	1000/5
Система шин II	
ВЛ-110 кВ «Центральная-2», $Q12$	600/5
ВЛ-110 кВ «Западная», $Q11$	600/5
ВЛ-110 кВ «Северная-2», $Q10$	600/5
ВЛ-110 кВ «Лесная-2», $Q9$	600/5
АТ-2 ПС-110 кВ «Северо-Запад», $Q8$	1000/5
АТ-3 ПС-110 кВ «Северо-Запад», $Q7$	1000/5
Секционный выключатель	
СВ-110 кВ, $Q1\text{ СВ}$	1000/5

Схема на рис. 12.1 имеет следующие значения токов КЗ:

$$I_{\text{КЗ МАКС}} = 15\,000 \text{ А} - \text{ в максимальном режиме работы;}$$

$$I_{\text{КЗ МИН}} = 10\,050 \text{ А} - \text{ в минимальном режиме работы;}$$

$$I_{\text{КЗ МИН опр СШ I}} = 4\,200 \text{ А} - \text{ в режиме опробования I системы шин;}$$

$$I_{\text{КЗ МИН опр СШ II}} = 4\,500 \text{ А} - \text{ в режиме опробования II системы шин.}$$

Максимальный рабочий ток наиболее мощного присоединения:

$$I_{\text{НАГР. МАКС}} = 980 \text{ А.}$$

Минимальный рабочий ток наименее мощного присоединения:

$$I_{\text{НАГР. МИН}} = 520 \text{ А.}$$

Номинальные токи присоединений, которые не должны отключаться по сигналу ДЗШ:

$$I_{\text{ном. тр ПС "Восточная"}} = 550 \text{ А;}$$

$$I_{\text{ном. тр ПС "Западная"}} = 570 \text{ А.}$$

Выполняем расчёт коэффициентов цифрового выравнивания вторичных токов ТТ. В качестве базисного принимаем коэффициент трансформации ТТ с наибольшим номинальным первичным током, т.е.  $K_{\text{ТТ.БАЗ}} = 1\,000/5$ . Используя формулу (4.1) находим значение коэффициента  $K_{\text{ЦВП}}$  для присоединений с трансформаторами тока, имеющими коэффициент трансформации:

$$- K_{\text{ТТ}} = 1\,000/5$$



$$K_{\text{ЦВ.П}} = \frac{K_{\text{ТТ П}}}{K_{\text{ТТ БАЗ}}} = \frac{1\,000/5}{1\,000/5} = 1,0; \quad (12.1)$$

$$- K_{\text{ТТ}} = 600/5$$

$$K_{\text{ЦВ.П}} = \frac{K_{\text{ТТ П}}}{K_{\text{ТТ БАЗ}}} = \frac{600/5}{1\,000/5} = 0,6. \quad (12.2)$$

После нахождения коэффициентов цифрового выравнивания переходим к выбору характеристик ПТН в блоках БМРЗ. Подставив в формулу (4.4) соответствующие расчетные значения, находим максимально допустимое значение тока в измерительном канале для присоединений с  $K_{\text{ТТ}} = 1\,000/5$  :

$$i_{\text{МАКС. ПТН}} \geq k_{\text{ПЕР}} \cdot \frac{I_{\text{К МАКС}}}{K_{\text{ТТ}}} = 2 \cdot \frac{15\,000}{1\,000/5} = 150 \text{ А}. \quad (12.3)$$

Для присоединений с  $K_{\text{ТТ}} = 1\,000/5$  выбираем ПТН с  $I_{\text{НОМ. ПТН}} = 2,5 \text{ А}$ , для которого в эксплуатационной документации терминала БМРЗ указано значение  $i_{\text{МАКС. ПТН}} = 250 \text{ А}$ . Подставив в формулу (4.4) соответствующие расчетные значения, находим максимально допустимое значение тока в измерительном канале для присоединений с  $K_{\text{ТТ}} = 600/5$ :

$$i_{\text{МАКС. ПТН}} \geq k_{\text{ПЕР}} \cdot \frac{I_{\text{К МАКС}}}{K_{\text{ТТ}}} = 2 \cdot \frac{15\,000}{600/5} = 250 \text{ А}. \quad (12.3)$$

Для присоединений с  $K_{\text{ТТ}} = 600/5$  выбираем ПТН с  $I_{\text{НОМ. ПТН}} = 2,5 \text{ А}$ , для которого в эксплуатационной документации терминала БМРЗ указано значение  $i_{\text{МАКС. ПТН}} = 250 \text{ А}$ .

В руководстве по эксплуатации терминала БМРЗ [4] рекомендовано после выбора ПТН проверять для каждого присоединения выполнение соотношения

$$0,5 \leq K_{\text{ЦВ.П}} \cdot \frac{I_{\text{ПТН П}}}{I_{\text{ПТН БАЗ}}} \leq 2. \quad (12.4)$$

где  $I_{\text{ПТН БАЗ}}$  – значение  $i_{\text{МАКС. ПТН}}$  для присоединения, выбранного в качестве базисного и на котором установлен ТТ с  $K_{\text{ТТ}} = 1\,000/5$ ;  $I_{\text{ПТН П}}$  – значение  $i_{\text{МАКС. ПТН}}$  для рассматриваемого присоединения.

Проверим выполнение соотношения (12.4) для присоединений, на которых установлены трансформаторы тока с  $K_{\text{ТТ}} = 1\,000/5$  :

$$0,5 \leq \left[ 1,0 \cdot \frac{250}{250} = 1,0 \right] \leq 2. \quad (12.5)$$

Проверка показала, что условие (12.4) для этих присоединений выполняется.

Проверим выполнение соотношения (12.4) для присоединений, на которых установлены трансформаторы тока с  $K_{\text{ТТ}} = 600/5$  :

$$0,5 \leq \left[ 0,6 \cdot \frac{250}{250} = 0,6 \right] \leq 2. \quad (12.6)$$

Проверка показала, что условие (12.4) для этих присоединений выполняется.

Выполняем расчёт уставок ДТО. Максимальный расчётный ток небаланса  $I_{\text{НБ МАКС}}$  при максимальном токе внешнего КЗ находим по формуле (5.1):

$$I_{\text{НБ МАКС}} = (\varepsilon_{\text{МАКС}} \cdot k_a \cdot k_{\text{одн}} + \gamma) \cdot I_{\text{КЗ МАКС}} = (0,1 \cdot 4 \cdot 1 + 0,05) \cdot 15\,000 = 6\,750 \text{ А.} \quad (12.9)$$

Уставку срабатывания ДТО  $I_{\text{ДТО}}$  рассчитываем по формуле (5.2):

$$I_{\text{ДТО}} = K_{\text{н}} \cdot I_{\text{НБ МАКС}} = 1,5 \cdot 6\,750 = 10\,125 \text{ А.} \quad (12.10)$$

Выполняем расчёт уставок ДЗТ. Для определения уставки начального тока срабатывания органов ДЗТ  $I_{\text{ДЗТ НАЧ}}$  используем формулу (6.1), подставив в неё исходные данные:

$$I_{\text{ДЗТ НАЧ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{НАГР. МАКС}} = 1,2 \cdot 980 = 1\,176 \text{ А.} \quad (12.11)$$

Для нахождения максимального тока небаланса в рабочем режиме  $I_{\text{НБ РАБ}}$  подставим в формулу (6.2) исходные данные:

$$I_{\text{НБ РАБ}} = (\varepsilon_{\text{НАГР. МАКС}} + \gamma) \cdot I_{\text{НАГР. МАКС}} = (0,1 + 0,05) \cdot 980 = 147 \text{ А.} \quad (12.12)$$

Используя исходные данные и формулу (6.3) находим уставку срабатывания ступени ДЗШ, действующую на сигнализацию при обрыве вторичных цепей ТТ  $I_{\text{НБ СРАБ}}$ :

$$I_{\text{НБ СРАБ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{НБ РАБ}} = 1,4 \cdot 147 = 206 \text{ А.} \quad (12.13)$$

Уставка срабатывания  $I_{\text{НБ СРАБ}}$  ступени ДЗШ, действующей на сигнализацию при обрыве вторичных цепей ТТ, должна удовлетворять условию (6.4):  $206 < 0,9 \cdot 520 = 468$ . Условие выполняется.

Таким образом, ступень с действием на сигнализацию может быть введена в работу.

Используя формулу (6.5), находим коэффициент торможения  $K_{\text{Т}}$  органов ДЗТ:

$$K_{\text{Т}} = \frac{I_{\text{ДТО}} - I_{\text{НБ РАБ}}}{I_{\text{КЗ МАКС}} - I_{\text{НАГР. МАКС}}} = \frac{10\,125 - 147}{15\,000 - 980} = 0,71. \quad (12.14)$$

Для нахождения уставки тока начала участка торможения  $I_{\text{НТ}}$  органов ДЗТ используем формулу (6.6):

$$I_{\text{НТ}} = I_{\text{НАГР. МАКС}} \cdot \left(1 + \frac{1,05}{K_{\text{Т}}}\right) = 980 \cdot \left(1 + \frac{1,05}{0,71}\right) = 2\,429 \text{ А.} \quad (12.15)$$

Для определения уставки срабатывания  $I_{\text{ДЗТ НАЧ. Ч}}$  «чувствительных» органов ДЗТ воспользуемся формулой (6.7), используя данные о номинальных токах присоединений, подключённых к шинам в момент опробования:

$$I_{\text{ДЗТ НАЧ. Ч}} = K_{\text{Н}} \cdot \varepsilon_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{БТН}} \cdot I_{\text{НОМ. тр. ПС "Западная"}}. \quad (12.16)$$

Расчёт  $I_{\text{ДЗТ НАЧ. Ч}}$  производим для случая опробования II системы шин, так как номинальный ток ВЛ-110 кВ «Западная», подключенной к II системе шин в режиме опробования, больше номинального тока ВЛ-110 кВ «Восточная», подключенной к I системе шин в режиме опробования.

Подставив в формулу (12.16) исходные данные, получим:

$$I_{\text{ДЗТ НАЧ. Ч}} = 1,5 \cdot 0,1 \cdot 5 \cdot 570 = 428 \text{ А.} \quad (12.17)$$

Коэффициент торможения  $K_{\text{Т. Ч}}$  участка торможения «чувствительных» органов ДЗТ принимаем равным найденному ранее (12-14) значению  $K_{\text{Т}}$ :

$$K_{\text{Т. Ч}} = K_{\text{Т}} = 0,71. \quad (12.18)$$

Уставку по току начала торможения  $I_{\text{НТ ч}}$  «чувствительных» органов ДЗТ принимаем равной уставке  $I_{\text{НТ}}$  органов ДЗТ:

$$I_{\text{НТ ч}} = I_{\text{НТ}} = 2\,429 \text{ А.} \quad (12.19)$$

Выполняем проверка чувствительности ДЗТ. Коэффициент чувствительности  $K_{\text{ч НОРМ}}$  органов ДЗТ находим по формуле (6.9), подставляя в неё полученные при расчете данные:

$$K_{\text{ч НОРМ}} = \frac{I_{\text{КЗ МИН}}}{I_{\text{ДЗТ НАЧ}}} = \frac{10\,050}{1\,176} = 8,55. \quad (12.20)$$

Используя эту же формулу, находим коэффициент чувствительности  $K_{\text{ч НОРМ}}$  «чувствительных» органов ДЗТ в режиме опробования I системы шин, так как значение тока КЗ в этом случае минимально:

$$K_{\text{ч НОРМ}} = \frac{I_{\text{КЗ МИН опр IСШ}}}{I_{\text{ДЗТ НАЧ. ч}}} = \frac{4\,200}{428} = 9,81. \quad (12.21)$$

Результаты проверки чувствительности показывают, что требования ПУЭ (см. [1], п. 3.2.21) по чувствительности ДЗТ выполняются.

Выполняем перевод уставок в относительные единицы. Для ввода полученных уставок в терминал БМРЗ переведем полученные в именованных единицах значения уставок в относительные единицы, учитывая что номинальный ток базисного присоединения  $I_{\text{НОМ.Б}} = 1\,000 \text{ А}$ .

Уставки срабатывания в относительных единицах будут равны:

- для ДТО

$$I_{\text{ДТО}} = \frac{10125 \text{ А}}{1000 \text{ А}} = 10,13; \quad (12.22)$$

- для начального тока срабатывания ДЗТ:

$$I_{\text{ДЗТ НАЧ}} = \frac{1\,176 \text{ А}}{1\,000 \text{ А}} = 1,18; \quad (12.23)$$

- для «чувствительного» органа ДЗТ:

$$I_{\text{ДЗТ НАЧ. ч}} = \frac{428 \text{ А}}{1\,000 \text{ А}} = 0,43; \quad (12.24)$$

- для тока начала торможения ДЗТ:

$$I_{\text{НТ}} = \frac{2429 \text{ А}}{1000 \text{ А}} = 2,43; \quad (12.25)$$

- для ступени сигнализации о небалансе:

$$I_{\text{НБ}} = \frac{206 \text{ А}}{1\,000 \text{ А}} = 0,21. \quad (12.26)$$

Рассчитанные и выбранные уставки для терминала БМРЗ, сведены в табл. 12.2.

Уставки защиты для ввода в терминал БМРЗ

Уставки	Обозначение	Значение
Номинальный ток ПТН для присоединений с $K_{\text{ТТ}} = 1\ 000/5$	$I_{\text{НОМ. ПТН}}$	2,5 А
Номинальный ток ПТН для присоединений с $K_{\text{ТТ}} = 600/5$	$I_{\text{НОМ. ПТН}}$	2,5 А
Ток срабатывания ДТО	$I_{\text{ДТО}}$	10,13 А
Ток сигнализации о небалансе	$I_{\text{НБ}}$	0,21 А
Начальный ток срабатывания ДЗТ	$I_{\text{ДЗТ НАЧ}}$	1,18 А
Ток начала торможения ДЗТ	$I_{\text{НТ}}$	2,43 А
Коэффициент торможения ДЗТ	$K_{\text{Т}}$	0,71
Начальный ток срабатывания «чувствительного» органа ДЗТ	$I_{\text{ДЗТ НАЧ. Ч}}$	0,43 А
Ток начала торможения «чувствительного» органа ДЗТ	$I_{\text{НТ Ч}}$	2,43 А
Коэффициент торможения «чувствительного» органа ДЗТ	$K_{\text{Т Ч}}$	0,71

По данным табл. 12.2 строим характеристики срабатывания защиты (рис. 12.2).

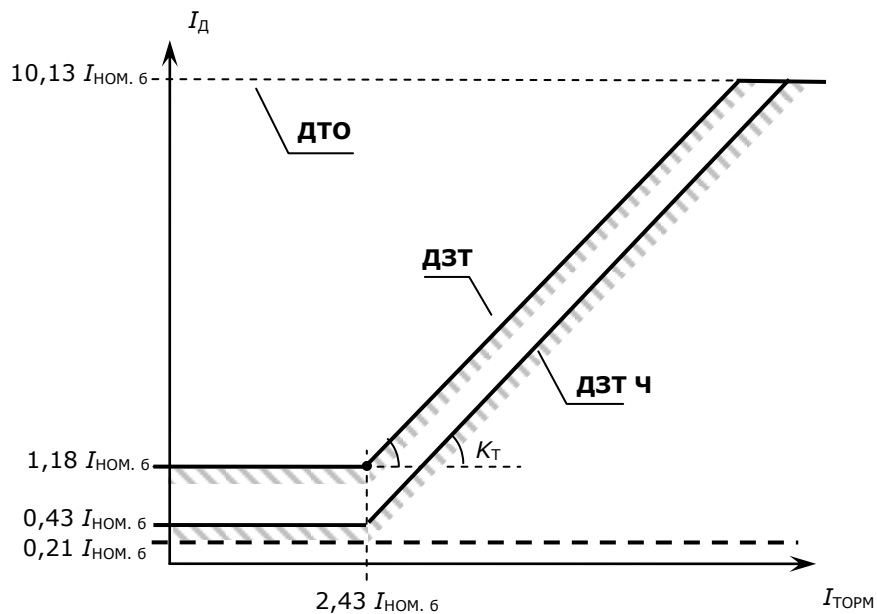


Рис. 12.2. Характеристики ДТО, ДЗТ и «чувствительного» органа ДЗТ (ДЗТ Ч)

## Литература

1. Правила устройства электроустановок. –6-е изд.
2. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 3: Защита шин 6–220кВ станций и подстанций. – М.- Л.: Госэнергоиздат, 1961.
3. РД 153-34.0-35.301-2002. Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты и измерения.
4. ДИВГ.648228070-05 РЭ. Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-ДЗШ: руководство по эксплуатации.
5. ДИВГ.648228070-32 РЭ. Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-ДЗО: руководство по эксплуатации.
6. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007.
7. Иванов В.И. Реле и релейная защита. – Л.: Ленгиз, 1932.
8. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 6: Устройства резервирования при отказе выключателей 35–500 кв. – М. - Л.: «Энергия», 1966.
9. СТО ДИВГ-051-2012. Сборные шины и ошиновка станций и подстанций 35–220 кВ. Дифференциальная токовая защита. Расчёт уставок.
10. Голанцов Е.Б., Молчанов В.В. Дифференциальные защиты трансформаторов с реле типа ДЗТ-21 (ДЗТ-23)/ Е.Б. Голанцов, В.В. Молчанов.– М.: Энергоатомиздат, 1990
11. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов. –М.: Энергоатомиздат, 1989.
12. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 12: Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110–500 кВ: расчеты. – М.: Энергия, 1980.

## Оглавление

1. Введение.....	3
2. Обозначения и сокращения принятые в работе .....	4
3. Общие сведения о дифференциальной токовой защите шин .....	5
4. Особенности дифференциальной защиты в терминалах БМРЗ .....	5
5. Дифференциальная токовая отсечка и выбор параметров срабатывания ДТО .....	9
6. Дифференциальная токовая защита с торможением и выбор параметров срабатывания ДЗТ.....	10
7. Отключение выключателей по сигналу УРОВ от внешних устройств.....	13
8. Работа защиты при КЗ в «мертвой» зоне между ТТ и СВ/ШСВ.....	14
9. Работа защит при опробовании шин и присоединений.....	17
10. Блокирование действия защиты при броске тока намагничивания силового трансформатора .....	19
11. Выбор остальных уставок защит .....	22
12. Пример выполнения ДЗШ ПС-110 кВ «Северо-Запад» .....	22
Литература .....	28

*Учебное издание*

ГОНДУРОВ Сергей Александрович, ИЛЮХИН Евгений Владимирович, ПИРОГОВ  
Михаил Геннадьевич, СОЛОВЬЁВ Александр Леонидович.

**Дифференциальная токовая защита сборных шин и ошинок станций и  
подстанций напряжением 35–220 кВ терминалами БМРЗ**

Методика расчета

Редактор Е.Б. Никанорова

Ризограф. Объем 2,3 печ. л. Тираж 300 экз.

Заказ №

ПЭИПК, 196135, Санкт-Петербург, Авиационная ул., 23.