

**СБОРНЫЕ ШИНЫ И ОШИНОВКА СТАНЦИЙ
И ПОДСТАНЦИЙ 35 - 220 кВ.
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА**

**Расчёт уставок
Методические указания**

**Санкт-Петербург
2013**

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 года №184 ФЗ "О техническом регулировании", а правила применения стандартов организаций – ГОСТ Р.1.4-2004 "Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения".

В настоящем стандарте приведены методики и пример расчёта уставок дифференциальной токовой защиты шин и ошинок.

Методики расчёта носят рекомендательный характер.

1 РАЗРАБОТАН Общество с ограниченной ответственностью "Научно-технический центр "Механотроника"

Научно-технический руководитель работы:

Заведующий кафедрой Релейной защиты и автоматики электрических станций, сетей и систем Петербургского Энергетического Института Повышения Квалификации к.т.н. СОЛОВЬЁВ А.Л.

Научный редактор

Зам. начальника УК Захаров О.Г.

Исполнители:

Начальник отдела системотехники,
ПИРОГОВ М.Г.

Ведущий инженер-системотехник,
ЧЕПЕЛЕВ В.Н.

Ведущий инженер-проектировщик,
ВАСИЛЕВСКИЙ Д.С.

Инженер-системотехник,
ИЛЮХИН Е.В.

2 УТВЕРЖДЁН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Генерального директора № 145-УК от 31.05.2012

3 Код Общественного классификатора предприятий и организаций ОКПО - 23048570.

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт является объектом охраны в соответствии с международным и российским законодательствами об авторском праве.

Любое несанкционированное использование стандарта, включая копирование, тиражирование и распространение, но не ограничиваясь этим, влечёт применение к виновному лицу гражданско-правовой ответственности, а также уголовной ответственности в соответствии со статьёй 146 УК РФ и административной ответственности в соответствии со статьёй 7.12 КоАП РФ.

Содержание

1 Область применения.....	1
2 Обозначения и сокращения.....	2
3 Общие сведения о дифференциальной токовой защите шин.....	3
4 Особенности дифференциальной защиты в блоках БМРЗ.....	4
4.1 Цифровое выравнивание токов "плеч"	4
4.2 Выбор ТТ и ПТН	5
4.3 Общие сведения о работе ДТО.....	5
4.4 Общие сведения о работе ДЗТ	7
5 Дифференциальная токовая отсечка.....	8
5.1 Выбор уставок срабатывания ДТО	8
6 Дифференциальная токовая защита с торможением.....	10
6.1 Выбор уставок срабатывания ДЗТ	10
6.2 Проверка чувствительности ДЗТ	13
7 Отключение выключателей по сигналу УРОВ от внешних устройств	13
8 Отключение КЗ в "мертвой" зоне между ТТ и СВ/ШСВ	15
8.1 Принцип действия	15
8.2 Выбор уставок.....	17
9 Опробование шин и присоединений.....	18
9.1 Принцип действия	18
9.2 Выбор уставок.....	20
10 Блокирование защиты при броске тока намагничивания силового трансформатора	21
10.1 Принцип действия.....	21
10.2 Выбор уставок	22
11 Выбор остальных уставок	25
12 Пример расчёта уставок	26
12.1 Исходные данные	26
12.2 Погрешности ТТ	27
12.3 Расчёт коэффициентов цифрового выравнивания	27
12.4 Выбор ПТН	28
12.5 Расчёт уставок ДТО.....	29
12.6 Расчёт уставок ДЗТ	29
12.7 Проверка чувствительности ДЗТ	30
12.8 Перевод уставок в относительные единицы	30
Литература	33

Введение

Настоящий стандарт соответствует требованиям и рекомендациям, изложенным в ПУЭ гл. 3.2 "Релейная защита" [1] и Руководящих указаниях по релейной защите выпуск 3 "Защита шин 6 - 220 кВ станций и подстанций" [2].

В стандарте учтены особенности построения и функционирования блоков БМРЗ, а также опыт их эксплуатации.

При разработке настоящего стандарта учитывался подход и практика решений, принятых в отечественной электроэнергетике.

В настоящем стандарте дан комплексный подход к расчету уставок дифференциальной токовой защиты шин и ошинок, выбору диапазона измерений аналоговых каналов блоков БМРЗ, даны рекомендации по выбору выдержек времени.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
СБОРНЫЕ ШИНЫ И ОШИНОВКА СТАНЦИЙ
И ПОДСТАНЦИЙ 35 - 220 кВ.
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА
Расчёт уставок
Методические указания

1 Область применения

Настоящий стандарт содержит подробные примеры расчета уставок дифференциальной токовой защиты шин и ошиновок.

Расчёты в стандарте выполнены в первичных значениях величин. Перед вводом в блок полученные в именованных единицах значения уставок необходимо перевести в относительные единицы, учитывая номинальных ток базисного присоединения.

Использование стандарта позволит проектным организациям и эксплуатирующим предприятиям наиболее полно реализовать все преимущества, которыми обладают блоки релейной защиты и автоматики производства НТЦ "Механотроника".

2 Обозначения и сокращения

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;
НБ – небаланс;
НТ – начало торможения;
о.е. – относительные единицы;
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

3.1 Дифференциальной токовой защитой шин называют защиту с абсолютной селективностью, основанную на непосредственном сравнении значений и фаз токов всех присоединений защищаемой шины.

Для правильного функционирования защиты необходимо, чтобы ТТ присоединений были установлены за выключателями (рисунок 3.1). Зона действия защиты ограничивается местом установки ТТ присоединений.

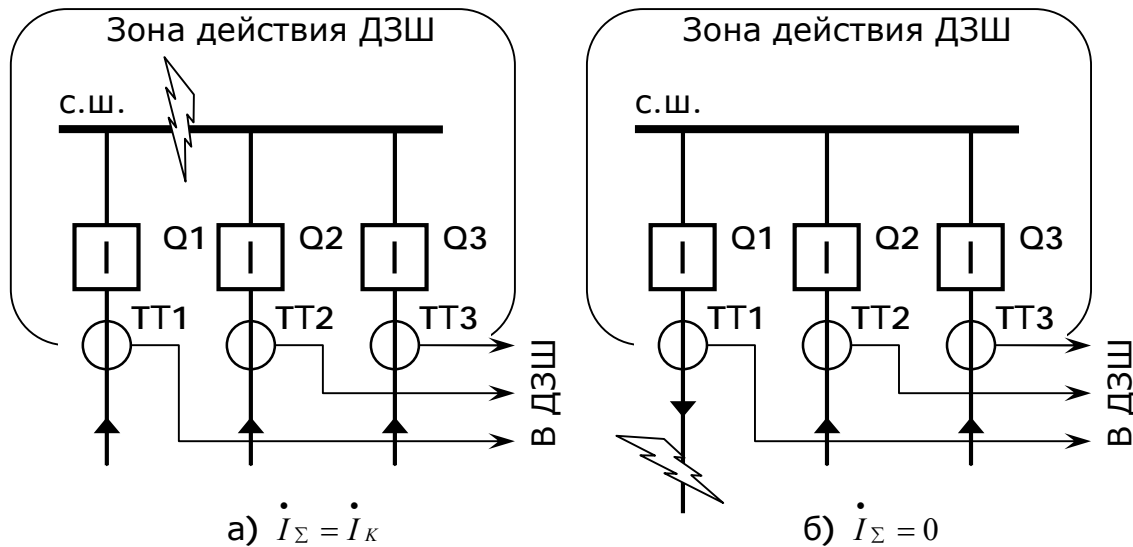


Рисунок 3.1 - Принцип действия дифференциальной токовой защиты

Каждое присоединение формирует так называемое "плечо" дифференциальной защиты. Для всех "плеч" защиты желательно применять ТТ с одинаковыми коэффициентами трансформации. При использовании ТТ с разными коэффициентами трансформации принимают меры по выравниванию токов в "плечах" дифференциальной защиты.

При подключении устройства защиты к ТТ присоединений за положительное направление токов принимают их направление в сторону защищаемого объекта.

При возникновении КЗ в зоне действия защиты (на шинах) суммарный вторичный ток ТТ (называемый дифференциальным) будет равен току КЗ - $\dot{I}_{\Sigma} = \dot{I}_K$ (рисунок 3.1, а). ДТО срабатывает при превышении дифференциальным током заданной уставки срабатывания.

При отсутствии КЗ и при внешнем КЗ дифференциальный ток в идеальных условиях будет равен нулю - $\dot{I}_{\Sigma} = 0$ (рисунок 3.1, б).

В реальных условиях в нормальном режиме работы схемы возникает дифференциальный ток небаланса, значение которого увеличивается при КЗ (в том числе и внешних).

Причина возникновения тока небаланса - погрешности, вносимые ТТ, устройствами релейной защиты, использование в схеме ТТ с разными коэффициентами трансформации.

При внешних КЗ влияние погрешностей ТТ может быть значительным, что приводит к необходимости увеличения уставки срабатывания и, следовательно, снижению чувствительности защиты к КЗ в зоне действия защиты.

Для повышения чувствительности наряду с ДТО применяют ДЗТ - дифференциальную защиту с торможением, ток срабатывания которой изменяется в зависимости от тока торможения (сквозного тока, проходящего через защищаемый объект).

Основное достоинство защиты с торможением - автоматическое увеличение тока срабатывания при возрастании тока торможения, что позволяет обеспечить достаточную чувствительность в минимальных режимах и отстройку от токов небаланса при внешних КЗ в максимальных режимах.

4 Особенности дифференциальной защиты в блоках БМРЗ

4.1 Цифровое выравнивание токов "плеч"

4.1.1 В блоках БМРЗ, предназначенных для защиты шин и ошинок, предусмотрено цифровое выравнивание токов "плеч" защиты, что позволяет использовать ТТ присоединений с разными коэффициентами трансформации.

Коэффициент цифрового выравнивания каждого присоединения $K_{ЦВП}$ определяют по формуле

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

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 должны принимать значения из диапазона, указанного в руководстве по эксплуатации на блок.

Если значения $K_{ЦВП}$ выходят из соответствующего диапазона, в качестве базисного присоединения может быть принято любое другое, обеспечивающее нахождение значений $K_{ЦВП}$ в требуемом диапазоне.

Для определения действующего значения дифференциального тока I_D в блоке БМРЗ происходит суммирование токов всех "плеч" по формуле

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

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

Действующее значение тока торможения I_T блок БМРЗ вычисляет как полусумму действующих значений токов всех "плеч" по формуле

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

4.2 Выбор ТТ и ПТН

4.2.1 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].

4.2.2 Полная погрешность ТТ при максимальном токе нагрузочного режима не должна превышать 10 %.

4.2.3 Номинальный ток измерительного канала $I_{НОМ ПТН}$ и соответствующие диапазоны измерений приведены в эксплуатационной документации на блоки БМРЗ.

Для обеспечения работы в режимах КЗ внутри защищаемой зоны максимально допустимое значения тока измерительного канала $i_{МАКС ПТН}$ выбирают по соотношению

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

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, имеющий ближайшее большее значение максимально допустимого входного тока.

В случае, если выбрать ПТН вышеуказанным способом не удастся из-за слишком большого значения тока КЗ, следует выбрать ПТН с максимально возможным допустимым входным током, обращая особое внимание на выполнение условий, изложенных в 4.2.1, 4.2.2.

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

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

где $I_{ПТН.П}$ – значение тока $I_{НОМ ПТН}$ для рассматриваемого присоединения;

$I_{ПТН.БАЗ}$ – значение тока $I_{НОМ ПТН}$ для базисного присоединения.

4.3 Общие сведения о работе ДТО

4.3.1 ДТО предназначена для быстрого и селективного отключения КЗ со значительным дифференциальным током в зоне действия защиты. ДТО, как вспомогательный элемент дифференциальной защиты, рекомендуется всегда применять совместно с ДЗТ.

Срабатывание ДТО при превышении дифференциальным током заданной уставки происходит без выдержки времени, без торможений и блокирования.

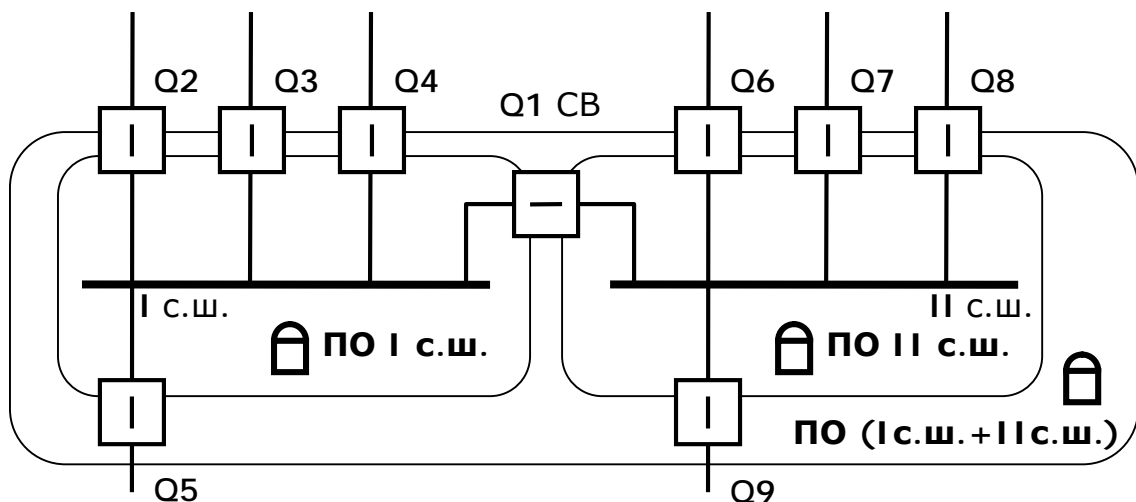
¹⁾ Соотношение (4.5) приведено в соответствие с [4], [5]. Для иных исполнений БМРЗ соотношение (4.5) рекомендуется уточнять в соответствующей действующей эксплуатационной документацией.

Возврат ДТО происходит при снижении дифференциального тока ниже уставки срабатывания защиты (с учётом коэффициента возврата).

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

Зоны действия ПО I с.ш. и ПО II с.ш. (рисунок 4.1) охватывают секции шин (шины) по отдельности. Зона действия ПО (I с.ш. + II с.ш.) охватывает всю систему шин целиком.

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




 - элемент защиты (пусковой орган, избирательный орган)

Рисунок 4.1 - Зоны действия пусковых органов ДТО

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

Эквивалентная схема действия пусковых органов ДТО, показанных на рисунке 4.1, приведена на рисунке 4.2.

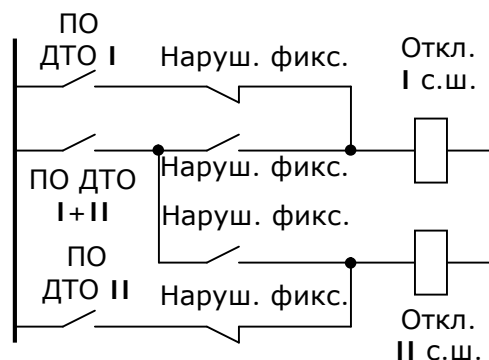


Рисунок 4.2 - Эквивалентная схема действия пусковых органов ДТО

4.3.4 В блоках БМРЗ, предназначенных для дифференциальной защиты ошиновки, предусмотрен всего один пусковой орган ДТО, зона действия которого охватывает всю ошиновку.

4.4 Общие сведения о работе ДЗТ

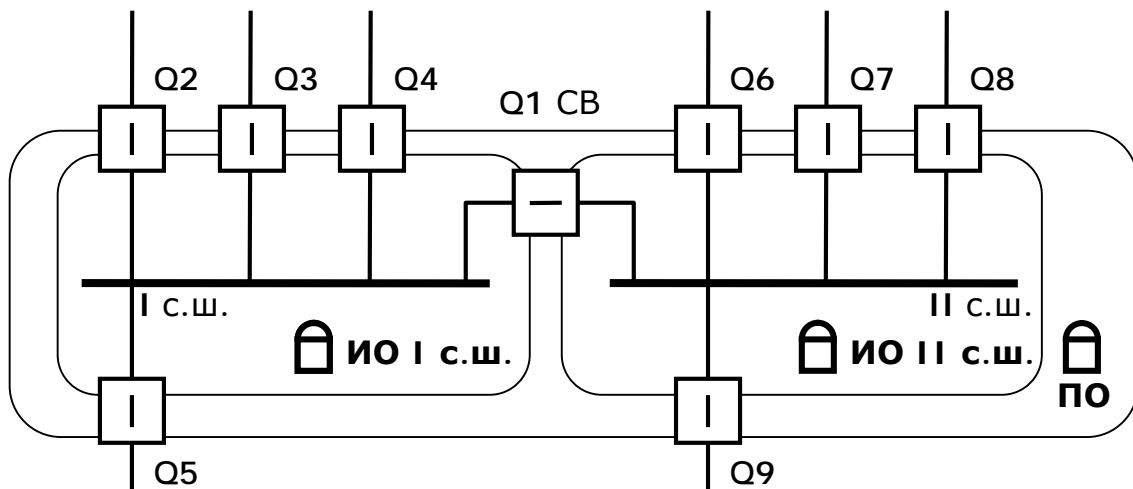
4.4.1 ДЗТ предназначена для быстрого и селективного отключения всех видов КЗ в зоне действия защиты.

Высокую чувствительность ДЗТ обеспечивает применение торможения защиты при возрастании сквозного тока, протекающего через защищаемый объект. Торможение также учитывает увеличение погрешности ТТ (в том числе более 10 %) при возрастании проходящего через него тока.

ДЗТ системы сборных шин выполнена с использованием пускового органа ПО, зона действия которого охватывает всю систему шин, и двух избирательных органов - ИО I с.ш. и ИО II с.ш. - охватывающих секции шин (шины) по отдельности (рисунок 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 секций шин (шин).



- элемент защиты (пусковой орган, избирательный орган)

Рисунок 4.3 - Зоны действия пусковых и избирательных органов ДЗТ

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

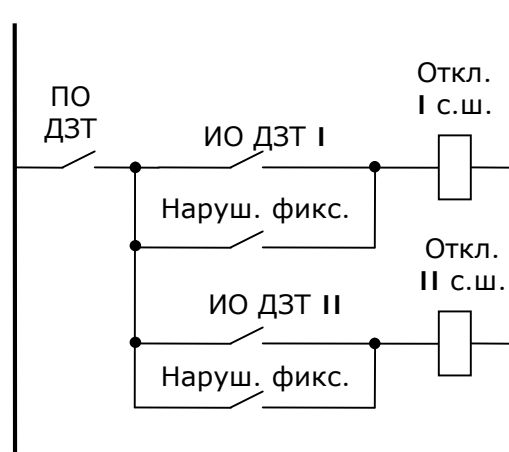


Рисунок 4.4 - Эквивалентная схема действия пусковых и избирательных органов ДЗТ

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.

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 необходимой чувствительности защиты в этом случае алгоритм, предусмотренный в блоке БМРЗ, вводит в работу комплект "чувствительных" пускового и избирательных органов, аналогичный основному комплекту, имеющий меньшие уставки срабатывания (иначе - работающий по более чувствительным уставкам).

В алгоритме 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

5.1 Выбор уставок срабатывания ДТО

5.1.1 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 $I_{НБ\ МАКС}$ при максимальном токе внешнего КЗ определяют по формуле

$$I_{НБ\ МАКС} = (\varepsilon_{МАКС} \cdot k_a \cdot k_{одн} + \gamma) \cdot I_{КЗ\ МАКС} \quad (5.1)$$

где $\varepsilon_{\text{МАКС}}$ - максимальное значение полной погрешности ТТ расчётного присоединения (10 % при выполнении требований [3])¹⁾;

k_a - 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";

$I_{\text{КЗ МАКС}}$ - периодическая составляющая максимально возможного первичного тока КЗ (в начальный момент времени КЗ), проходящего при внешнем КЗ по ТТ присоединения, являющегося расчётным, А.

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

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

где $K_n = 1,5$ – коэффициент надежности.

5.1.2 При выборе уставки срабатывания ДТО для режима опробования присоединения по схеме с "открытым плечом" (см. 9.1.4) $I_{\text{ДТО ОПР}}$ при отсутствии силовых трансформаторов в зоне действия защиты загрузка ДТО 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 $K_{\text{БТН}} = 5$ – коэффициент броска тока намагничивания;

$I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток силового трансформатора, А.

5.1.3 В связи с тем, что ДТО является вспомогательным элементом ДЗТ (см. раздел 6), проверку чувствительности ДТО не производят.

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

6 Дифференциальная токовая защита с торможением

6.1 Выбор уставок срабатывания ДЗТ

6.1.1 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 рисунке 6.1 представлен общий вид характеристик ДЗТ и ДТО.

6.1.2 Уставку начального тока срабатывания органов ДЗТ $I_{ДЗТ НАЧ}$ одиночной системы шин и двойной системы шин вычисляют по формуле

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

где $K_{ОТС} = 1,2$ – коэффициент отстройки от дифференциального тока, возникающего при обрыве вторичных цепей ТТ;

$I_{НАГР МАКС}$ – максимальный ток нагрузочного режима (первичный ток нагрузки базисного присоединения), А.

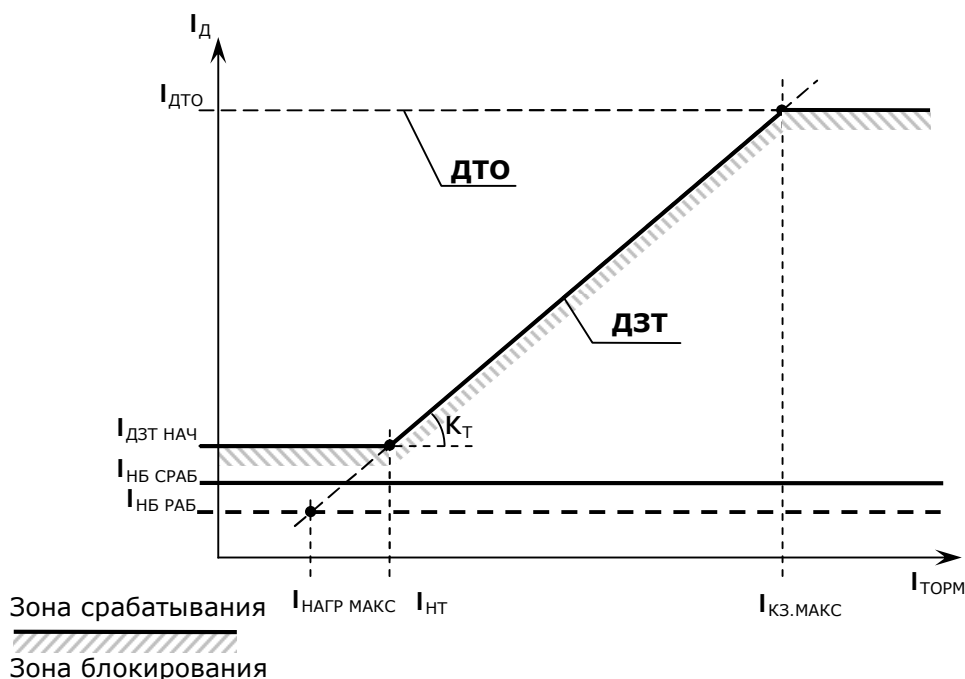


Рисунок 6.1 - Характеристики ДТО и ДЗТ

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

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

где $\varepsilon_{НАГР.МАКС} = 0,1$ - наибольшая расчётная полная погрешность ТТ при максимальном токе нагрузочного режима;

$\gamma = 0,05$ - погрешность цифрового выравнивания токов "плеч".

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

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

где $K_{ОТС} = 1,4$ - коэффициент отстройки;

$I_{НБ\ РАБ}$ - максимальный ток небаланса в рабочем режиме.

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

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

6.1.5 После выбора уставки срабатывания $I_{НБ\ СРАБ}$ необходимо проверить выполнение условия

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

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

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

6.1.6 Коэффициент торможения K_T участка торможения ДЗТ вычисляют по формуле

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

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

Для надежной работы защиты при КЗ в зоне её действия, значение коэффициента K_T должно быть не более 1,9. Если расчетное значение $K_T > 1,9$, необходимо принять меры по уменьшению погрешности измерительных ТТ, обусловленной током $I_{КЗ\ МАКС}$, например, снизить нагрузку на вторичные цепи ТТ.

6.1.7 Используя формулу (6.6) находим уставку по току начала торможения $I_{НТ}$

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

Формула (6.6) получена исходя из геометрических свойств характеристик, изображенных на рисунке 6.1, а также формул (6.1) и (6.2).

6.1.8 "Чувствительные" уставки, используемые при опробовании шин, отстраивают от тока небаланса ДЗТ неотключаемых присоединений нагрузки.

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 запаса;

$\varepsilon_{НОМ} = 0,1$ – полная погрешность ТТ, установленного на присоединении питания шин;

$K_{СЗП}$ – коэффициент самозапуска, учитывающий увеличение тока при самозапуске заторможенных двигателей. Значение коэффициента выбирают в диапазоне от 1,5 до 3 в зависимости от номинального пускового тока подключенных электродвигателей;

$I_{расч1}$ – расчетное значение рабочего тока неотключаемого присоединения, содержащего двигательную нагрузку с самозапуском заторможенных двигателей, А;

$K_{БТН} = 5$ – коэффициент броска тока намагничивания;

$I_{расч2}$ – 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.

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

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

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

В качестве уставки $I_{ДЗТ.НАЧ.ч}$ выбирают большее из значений, вычисленных по формулам (6.7) и (6.8).

Коэффициент торможения $K_{Тч}$ принимают равным K_T .

Ток начала торможения "чувствительных" органов $I_{HTч}$ принимают равным I_{HT} .

6.2 Проверка чувствительности ДЗТ

6.2.1 Коэффициент чувствительности ДЗТ рассчитывают по формуле

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

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

6.2.2 Расчетное значение коэффициента чувствительности должно соответствовать требованиям ПУЭ и быть около 2¹⁾. Для режима опробования шин значение коэффициента чувствительности может быть около 1,5¹⁾.

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

7 Отключение выключателей по сигналу УРОВ от внешних устройств

7.1 Алгоритм УРОВ предназначен для отключения КЗ, сопровождающихся отказом выключателей или защит участка, на котором выявлено КЗ.

Для сборных шин алгоритм УРОВ должен действовать в соответствии с рекомендациями, приведенными в [7] – отключать данную систему (секцию) шин при КЗ на отходящем присоединении либо на соседней системе (секции) шин, сопровождающимся отказом соответствующего выключателя на отключение.

Так, например, при отказе выключателя $Q5$ (рисунок 7.1) происходит отключение по сигналу УРОВ всех остальных выключателей первой секции шин - $Q1\text{ СВ}, Q2, Q3, Q4$.

7.2 Пуск алгоритма УРОВ происходит от защит присоединений. Алгоритм УРОВ входит в состав автоматики управления выключателем присоединения и при срабатывании формирует сигнал на вход приемника УРОВ ("УРОВп") защиты шин.

В блоках БМРЗ, обеспечивающих защиту шин, предусмотрены входы "УРОВп 1" и "УРОВп 2" для соответствующих секций (шин), что обеспечивает действие УРОВ на отключение соответствующей секции (шины) при сохранении рабочей фиксации присоединений.

¹⁾ См. [1], п. 3.2.21.

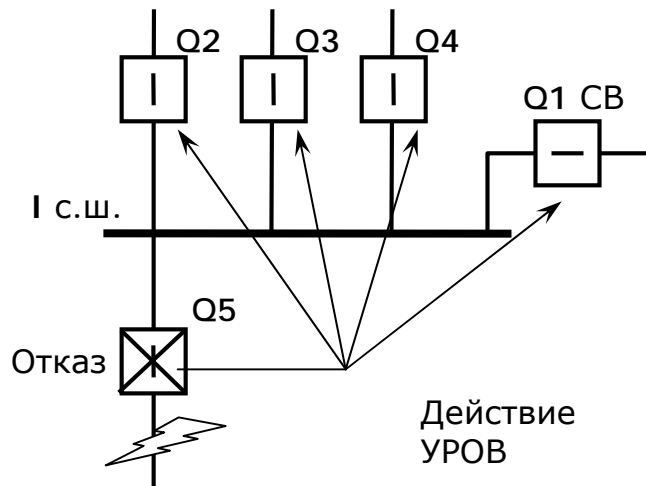


Рисунок 7.1 - Принцип работы УРОВ при КЗ на присоединении

Поступление сигнала "УРОВп 1" или "УРОВп 2" при нарушенной рабочей фиксации присоединений приводит к формированию сигналов на отключение всей системы шин (см. рисунок 7.2).

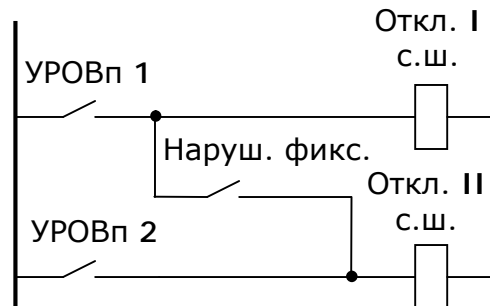


Рисунок 7.2 - Эквивалентная схема действия приемника УРОВ на отключение секций шин

Нарушение рабочей фиксации алгоритм блока определяет по факту поступления сигнала на дискретный вход "нарушение фиксации".

8 Отключение КЗ в "мертвой" зоне между ТТ и СВ/ШСВ

8.1 Принцип действия

8.1.1 При использовании выносных ТТ (см. *ТТ1* на рисунке 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.

8.1.2 При выполнении схемы с одним ТТ, ДЗШ сначала излишне отключает неповрежденную секцию (шину), затем, при продолжении КЗ, распознаваемого по току, протекающему через ТТ1, отключает поврежденную секцию (шину) с выдержкой времени.

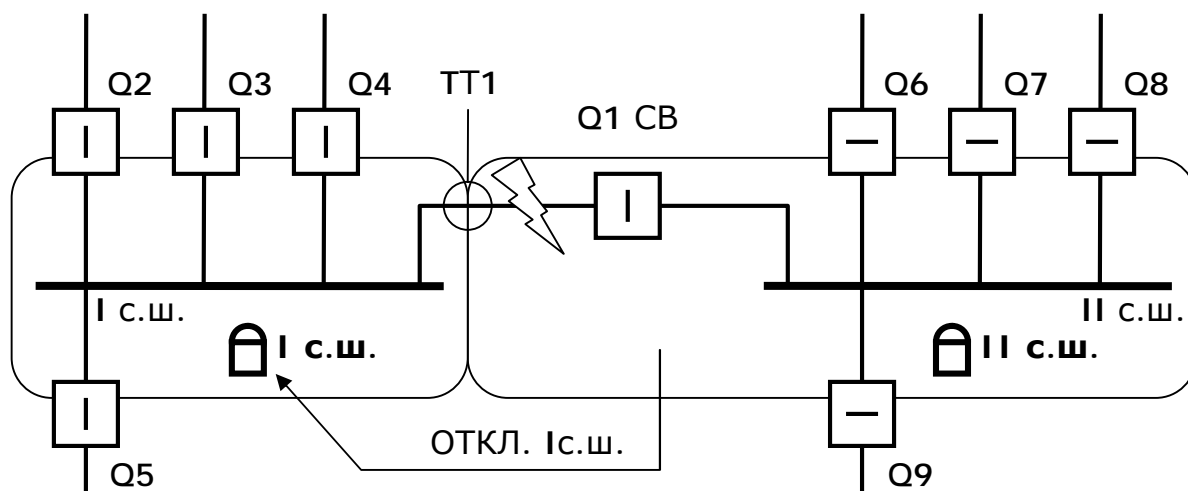


Рисунок 8.1 – Схема неселективного отключения КЗ в зоне между ТТ и СВ при использовании одного ТТ

Сохранение селективности действия защиты возможно только при условии предварительного отключения СВ и введении задержки действия ДЗШ на отключение остальных присоединений.

При этом "плечо" секционного выключателя дифференциальной защиты должно "открываться" после отключения СВ, что приводит к изменению зоны охвата избирательного органа (см. стрелку серого цвета на рисунке 8.2) и обеспечивает селективное отключение КЗ (более подробно описано в 9.1.4).

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

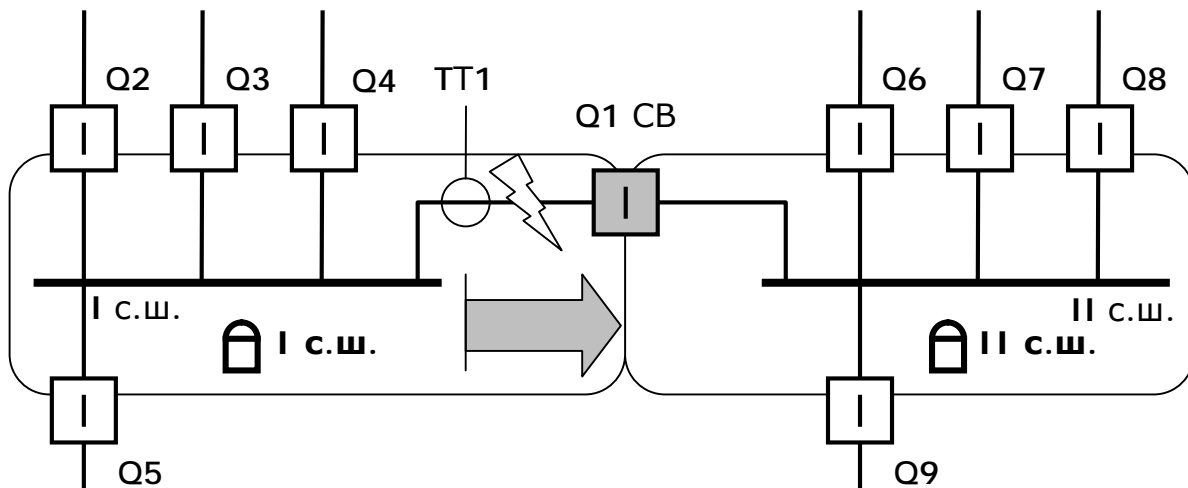


Рисунок 8.2 – Схема селективного отключения КЗ в зоне между ТТ и СВ с выдержкой времени при использовании одного ТТ

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

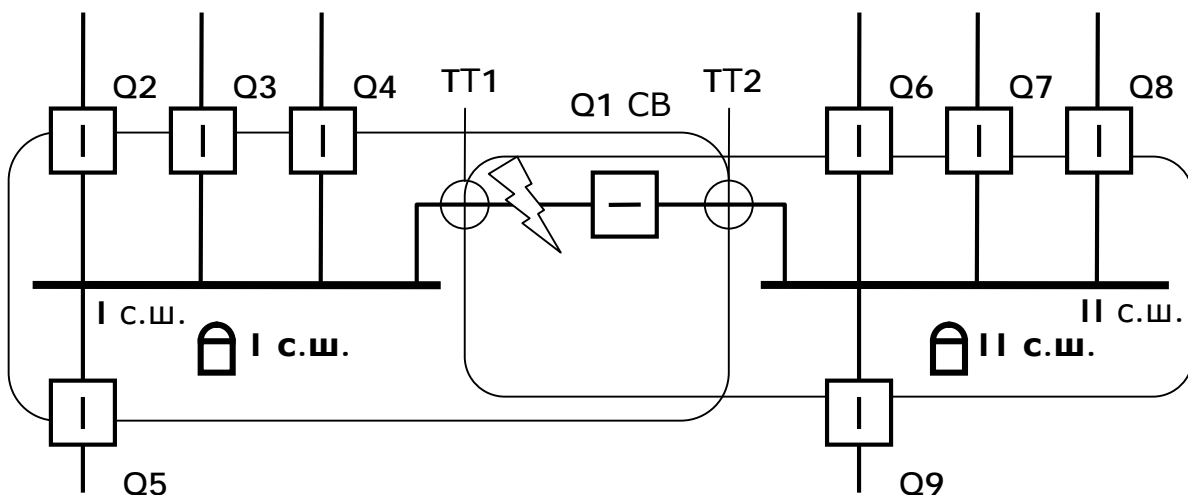


Рисунок 8.3 – Схема неселективного отключения КЗ в зоне между ТТ и СВ при использовании двух ТТ

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 (как описано в 9.1.4), что приводит к изменению зон охвата избирательных органов (см. стрелки серого цвета на рисунке 8.4), обеспечивая тем самым возврат избирательного органа неповрежденной секции (шины) и селективное отключение КЗ.

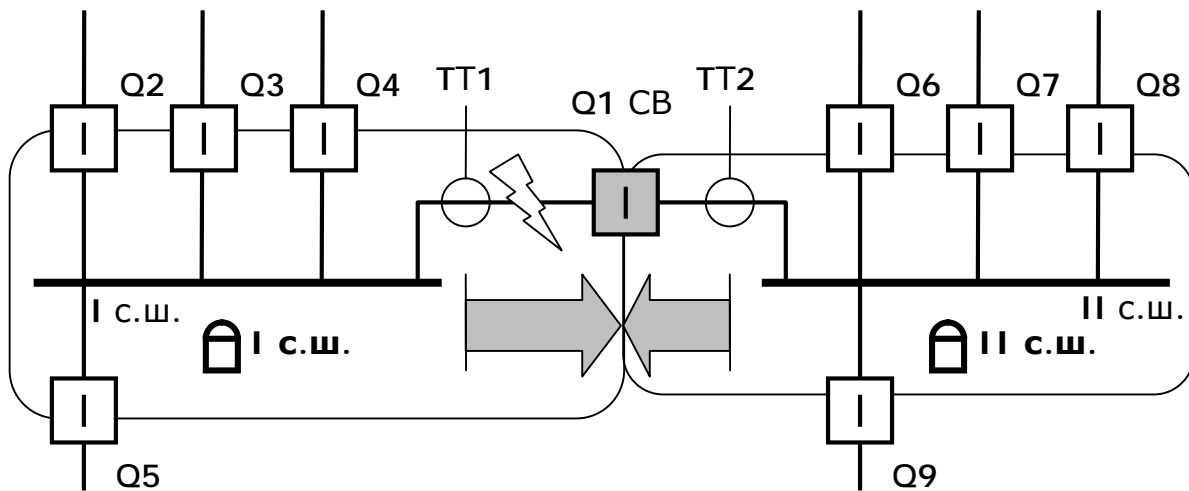


Рисунок 8.4 – Схема селективного отключения КЗ в зоне между ТТ и СВ с выдержкой времени при использовании двух ТТ

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

8.1.4 Максимальное полное время действия защиты с предварительным отключением секционного выключателя (см. рисунки 8.2, 8.4), учитывающее время срабатывания защиты, отключения выключателя и 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 блоках 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 рисунках 8.1, 8.2, 8.3, 8.4.

8.2 Выбор уставок

8.2.1 Время срабатывания защиты $T_{PEZ\ CB}$, необходимое для обеспечения селективности при КЗ в "мертвой" зоне СВ/ШСВ, при работе в соответствии с рисунком 8.1, отстраивают от максимального времени отключения СВ T_{CB} по формуле

$$T_{PEZ\ CB} = T_{CB} + T_{ПР} + T_{ВОЗВ} + T_{ЗАПАСА}, \quad (8.1)$$

где $T_{ПР}$ - время действия промежуточных реле;

$T_{ВОЗВ} = 0,03$ с - время возврата защиты;

$T_{ЗАПАСА}$ - от 0,01 до 0,03 с, время, учитывающее возможные дополнительные задержки.

Суммарное время, состоящее из выдержки $T_{PE3 CB}$ и времени отключения выключателей присоединений (с учетом промежуточных реле), должно удовлетворять основным требованиям по времени отключения КЗ.

8.2.2 Уставку срабатывания $I_{МИН}$ реле минимального тока необходимо выбирать по возможности минимальной.

Рекомендуемое значение уставки составляет 5 – 10 % от номинального тока ТТ присоединения.

Выбранная уставка по току $I_{МИН}$ должна быть выше нижней границы диапазона измерений выбранного ПТН (см. 4.2)

$$I_{МИН} \geq 1.1 \cdot I_{МИН ПТН} , \quad (8.2)$$

где $I_{МИН ПТН}$ – 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.

8.2.3 Выдержку времени $T_{CB ОТКЛ}$ отключения ДЗШ, при предварительном делении системы шин путем отключения СВ/ШСВ в соответствии с рисунками 8.2, 8.4, определяют аналогично выдержке времени $T_{PE3 CB}$.

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

9 Опробование шин и присоединений

9.1 Принцип действия

9.1.1 В блоках БМРЗ-ДЗШ и БМРЗ-ДЗО предусмотрено выполнение различных (в зависимости от исполнения блока) видов опробования шин и присоединений.

9.1.2 Опробование секции шин путем подачи напряжения от присоединения или соседней секции осуществляется при постановке секции (шины) под напряжение, в том числе и при выполнении АПВ.

При наличии повреждения на опробуемой секции (шине), блок обеспечивает селективное отключение только опробуемой секции (шины) без выдержки времени.

Поскольку при выполнении опробования ток КЗ может быть меньше расчетного, опробование может выполняться с применением для опробуемой секции (шины) отдельной группы "чувствительных" пусковых органов.

9.1.3 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.

9.1.4 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 (рисунок 9.1), а ток, протекающий через опробуемое присоединение, вызывает увеличение дифференциального тока в защите.

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.

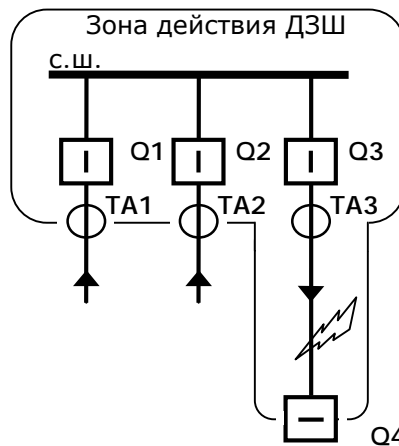


Рисунок 9.1 – Расширения зоны защиты при опробовании присоединения по схеме "открытого плеча"

9.1.5 При опробовании присоединений шин по схеме с "открытым плечом", алгоритм ДТО также 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.

В связи с этим, необходимо отстроить уставку тока срабатывания ДТО от значения БТН силового трансформатора присоединения, если он находится в опробуемой зоне.

Поэтому при выполнении опробования присоединения по схеме "с открытым плечом" может происходить снижение чувствительности ДТО.

9.1.6 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 блокирования.

9.1.7 Выбор режима опробования с "открытым плечом" или с "закрытым плечом", выбор опробуемого присоединения осуществляются оперативно, подачей дискретных сигналов на соответствующие дискретные входы блока.

9.2 Выбор уставок

9.2.1 Перечень уставок, используемых в алгоритмах автоматики опробования шин и присоединений, в различных блоках защиты может различаться в зависимости от функциональных возможностей блока.

9.2.2 Уставку максимального реле напряжения $U >$ принимают равной $0,8 \cdot U_{НОМ}$, где $U_{НОМ}$ - номинальное вторичное междуфазное напряжение.

Уставку минимального реле напряжения $U <$ принимают равной $0,4 \cdot U_{НОМ}$.

Уставку реле напряжения обратной последовательности $U2 >$ отстраивают от максимального значения небаланса вторичного напряжения обратной последовательности $U2_{НБ}$, находя её по формуле

$$U2 \geq K_{отс} \cdot U2_{НБ}, \quad (9.1)$$

где $K_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки.

Значение напряжения $U2_{НБ}$ может быть получено исходя из опыта эксплуатации.

9.2.3 В блоках БМРЗ можно задать следующие уставки по времени в алгоритмах автоматики опробования шин и присоединений:

$T_{ОПР Ш}$ – время действия режима опробования шин (секции) при оперативном включении. Уставка отсчитывается от момента включения выключателя присоединения (сигнал "КСС");

$T_{ОЧ АПВ}$ – время действия режима опробования шин (секции) при выполнении АПВ. Отсчитывается с момента отключения шин (секции), определяемого по снижению напряжения ниже заданной уставки;

$T_{ОПР ПР}$ – время действия режима опробования присоединения от шин (секции). Выдержка отсчитывается от момента включения выключателя опробуемого присоединения (сигнал "КСС").

$T_{УОШ}$ – выдержка времени возврата режима опробования ошиновки при успешном опробовании, обеспечивает возврат режима опробования до истечения времени $T_{ОПР Ш}$ или $T_{ОЧ АПВ}$. Уставка отсчитывается с момента появления симметричного напряжения на ошиновке, превышающего заданную уставку.

9.2.4 Выдержка времени $T_{ОПР Ш}$ должна быть больше суммарного времени включения выключателя (с учетом времени действия промежуточного реле), времени переходного процесса при подаче питания на шины (секцию) и времени действия защиты (последнее принимают равным 0,04 с).

9.2.5 Выдержку времени $T_{ОЧ АПВ}$ определяют как сумму времени действия АПВ шин и выдержки $T_{ОПР Ш}$.

9.2.6 Выдержка времени $T_{\text{ОПР ИР}}$ должна отстраиваться от суммарного времени включения выключателя (с учетом промежуточного реле), времени переходного процесса при подаче питания на присоединение и максимального времени действия защиты присоединения (включая отключение выключателя при КЗ).

9.2.7 Выдержка $T_{\text{У ОШ}}$ может быть принята равной 0,1 с.

10 Блокирование защиты при броске тока намагничивания силового трансформатора

10.1 Принцип действия

10.1.1 При опробовании по схеме с "открытым плечом" присоединения, содержащего силовой трансформатор (автотрансформатор), в присоединении появляется ток, значение которого из-за насыщения магнитопровода трансформатора может быть соизмеримо с токами внутренних КЗ.

10.1.2 Отстройку ДТО от БТН в режиме опробования обеспечивают выбором соответствующей уставки по току срабатывания (см. 5.1.2).

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

Алгоритм ИПБ выявляет режим БТН и блокирует работу ДЗТ, тем самым исключая ложное срабатывание ДЗТ при включении трансформатора (автотрансформатора). Такой вариант отстройки позволяет не увеличивать начальный ток срабатывания и коэффициент торможения, сохранив требуемый коэффициент чувствительности защиты.

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 [8], 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 ИПБ $k_{\text{ИПБ}}$, 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.

10.1.4 Для исключения излишнего блокирования ДЗТ применяют ограничение времени действия алгоритма ИПБ (в зависимости от исполнения блока).

Максимально допустимое время действия алгоритма ИПБ задают уставкой $T_{\text{ИПБ МАКС}}$. По истечении заданного времени с момента возникновения БТН блокирование ДЗТ прекращается.

10.1.5 Для повышения эффективности блокирования ДЗТ при возникновении периодических БТН применяют перекрестное блокирование (в зависимости от исполнения блока).

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 $T_{\text{ИПБ ИПБ}}$. По завершении заданного времени блокирование действует только пофазно.

10.2 Выбор уставок

10.2.1 Уставку срабатывания ИПБ $K_{\text{ИПБ}}$ выбирают по условию срабатывания ИПБ при включении силового трансформатора на холостой ход и возникновении периодического БТН, используя формулу

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

где K_G - 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 возникновения периодических БТН.

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

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

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

где $K_{\text{ОТС}}$ - от 1,15 до 1,30 – коэффициент отстройки;

τ – постоянная затухания БТН, с;

$K_{\text{БТН}} = 5$ – коэффициент БТН;

$I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток силового трансформатора, А;

$I_{\text{ДЗТ НАЧ.}}$ – начальный ток срабатывания ДЗТ, А.

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

10.2.3 В соответствии с рекомендациями, приведенными в [9], постоянную затухания БТН определяют по одной из двух формул, приведенных ниже.

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

$$\tau = \frac{x_C + x_B}{\omega \cdot (R_C + R_T)}. \quad (10.4)$$

При включении со стороны обмотки, соединенной в треугольник, применяют формулу

$$\tau = \frac{3 \cdot x_C + x_B}{\omega \cdot (3 \cdot R_C + R_T)}. \quad (10.5)$$

В формулах применены следующие обозначения:

x_C – реактивное сопротивление питающей сети, Ом;

x_B – реактивное сопротивление первичной обмотки насыщенного трансформатора, принимаемое равным реактивному сопротивлению обмотки при замене стали воздухом (в (10.5) – для обмотки одного стержня), Ом;

ω – угловая частота сети, рад/с, ($\omega = 2\pi f_C$, $f_C = 50$ Гц – частота сети);

R_C – активное сопротивление питающей сети, Ом (при отсутствии данных принимают равным $0,1 \cdot x_C$);

R_T – активное сопротивление обмотки, на которую подается напряжение при включении (в (10.5) – для обмотки одного стержня), Ом.

10.2.4 Реактивное сопротивление обмотки насыщенного трансформатора x_B определяют по формуле

$$x_B = x_{*T}^{(1)} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}}, \quad (10.6)$$

где $x_{*T}^{(1)}$ – сопротивление трансформатора при однофазном включении, % (см. [10, таблица ПВ-1]). При отсутствии данных о значении $x_{*T}^{(1)}$ для ориентировочных расчетов можно воспользоваться формулами из таблицы 10.1;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение стороны трансформатора, с которой производится включение, кВ;

$S_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора, МВ·А.

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

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

где $\Delta P_{КЗ}$ – потери КЗ, кВт;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение стороны трансформатора, с которой производится включение, кВ;

$S_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора, МВ·А.

Значение сопротивления R_T рекомендуется уточнить, используя опытные данные о сопротивлении соответствующей обмотки постоянному току.

10.2.6 Для силовых трансформаторов (автотрансформаторов) с группой соединения обмоток "0" или "6" перекрестное блокирование необязательно, поэтому принимают $T_{ПБ\ ИПБ} = 0$.

Для силовых трансформаторов, группа соединения обмоток которых отличается от "0" или "6", принимают $T_{ПБ\ ИПБ} = T_{ИПБ\ МАКС}$.

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

Таблица 10.1 - Формулы для расчета $x_{*T}^{(1)}$ (по [10])

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

11 Выбор остальных уставок

11.1 В блоках 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.

11.2 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.

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

11.4 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.

Выбор уставок реле минимального тока $I_{\text{мин}}$ производят в соответствии с описанным в 8.2.2.

12 Пример расчёта уставок

12.1 Исходные данные

12.1.1 Значения коэффициентов трансформации трансформаторов тока, используемых на присоединениях ПС-110 кВ "Северо-Запад" (рисунок 12.1), приведены в таблице 12.1.

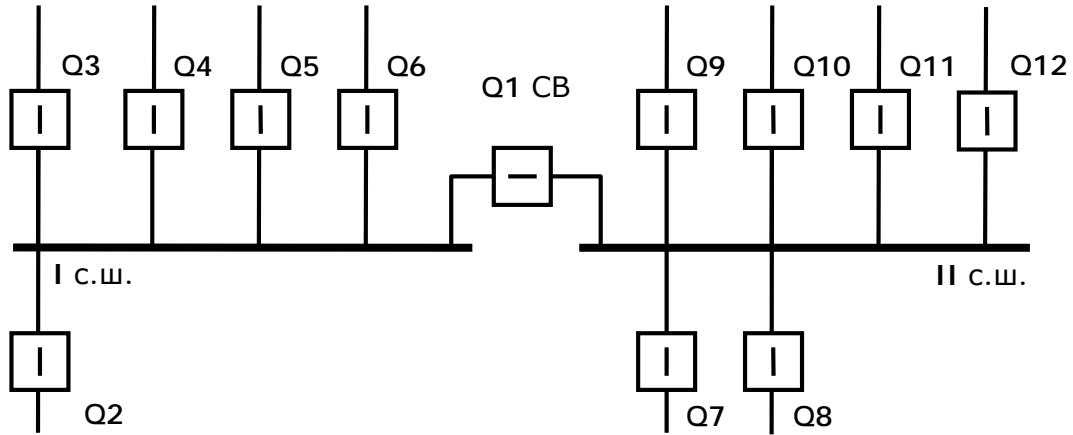


Рисунок 12.1 – Эквивалентная схема ПС-110 кВ "Северо-Запад"

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 – Коэффициенты трансформации $K_{ТТ}$ трансформаторов тока присоединений

Присоединение и выключатель	$K_{ТТ}$
I система шин	
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
II система шин	
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 СВ	1000/5

Схема, приведенная на рисунке 12.1, характеризуется такими значениями токов КЗ:

$$I_{КЗ\ МАКС} = 15000 \text{ А} - \text{ в максимальном режиме работы;}$$

$$I_{КЗ\ МИН} = 10050 \text{ А} - \text{ в минимальном режимом работы;}$$

$$I_{КЗ\ МИН\ \text{опр}\ 1\ СШ} = 4200 \text{ А} - \text{ в режиме опробования I системы шин;}$$

$$I_{КЗ\ МИН\ \text{опр}\ 2\ СШ} = 4500 \text{ А} - \text{ в режиме опробования II системы шин.}$$

Максимальный рабочий ток наиболее мощного присоединения:

$$I_{НАГР\ МАКС} = 980 \text{ А.}$$

Минимальный рабочий ток наименее мощного присоединения:

$$I_{НАГР\ МИН} = 520 \text{ А.}$$

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

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

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

Расчет уставок начинают с оценки погрешностей трансформаторов тока.

12.2 Погрешности ТТ

12.2.1 Выбранные ТТ удовлетворяют требованиям, приведённым в [3]. Кратность тока КЗ не превосходит предельно допустимую для реальной нагрузки на вторичные цепи ТТ.

12.3 Расчёт коэффициентов цифрового выравнивания

12.3.1 В качестве базисного принимают коэффициент трансформации ТТ с наибольшим номинальным первичным током, т.е. $K_{ТТ.БАЗ} = 1000/5$.

Используя формулу (4.1) находят значение коэффициента $K_{ЦВП}$ для присоединений с трансформаторами тока, имеющими коэффициент трансформации:

$$- K_{ТТ} = 1000/5 :$$

$$K_{ЦВП} = \frac{K_{ТТ.П}}{K_{ТТ.БАЗ}} = \frac{1000/5}{1000/5} = 1,0 ; \quad (12.1)$$

$$- K_{ТТ} = 600/5 :$$

$$K_{ЦВП} = \frac{K_{ТТ.П}}{K_{ТТ.БАЗ}} = \frac{600/5}{1000/5} = 0,6 . \quad (12.2)$$

После нахождения коэффициентов цифрового выравнивания перейти к выбору характеристик ПТН в блоках БМРЗ.

12.4 Выбор ПТН

12.4.1 Подставив в формулу (4.4) соответствующие расчетные значения, находят максимально допустимое значение тока в измерительном канале для присоединений с коэффициентом трансформации $K_{ТТ} = 1000/5$

$$i_{МАКС ПТН} \geq k_{ПЕР} \cdot \frac{I_{К МАКС}}{K_{ТТ}} = 2 \cdot \frac{15000}{1000/5} = 150 \text{ А.} \quad (12.3)$$

Для присоединений с коэффициентом трансформации $K_{ТТ} = 1000/5$ выбрать ПТН, у которого $I_{НОМ ПТН} = 2,5 \text{ А}$ и для которого в эксплуатационной документации блока БМРЗ указано значение $i_{МАКС ПТН} = 250 \text{ А}$.

12.4.2 Подставив в формулу (4.4) соответствующие расчетные значения, находят максимально допустимое значение тока в измерительном канале для присоединений с коэффициентом трансформации $K_{ТТ} = 600/5$

$$i_{МАКС ПТН} \geq k_{ПЕР} \cdot \frac{I_{К МАКС}}{K_{ТТ}} = 2 \cdot \frac{15000}{600/5} = 250 \text{ А.} \quad (12.4)$$

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

12.4.3 В руководстве по эксплуатации блока БМРЗ [4] рекомендовано после выбора ПТН проверять для каждого присоединения выполнение соотношения (4.5).

12.4.4 Выполнение соотношения (4.5) проверяют для присоединений, на которых установлены трансформаторы тока с $K_{ТТ} = 1000/5$

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

Проверка показала, что условие (4.5) для этих присоединений выполняется.

12.4.5 Выполнение соотношения (4.5) проверяют для присоединений, на которых установлены трансформаторы тока с $K_{ТТ} = 600/5$

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

Проверка показала, что условие (4.5) для этих присоединений выполняется.

12.5 Расчёт уставок ДТО

12.5.1 Максимальный расчётный ток небаланса $I_{НБ\ МАКС}$ при максимальном токе внешнего КЗ находят по формуле (5.1)

$$I_{НБ\ МАКС} = (\varepsilon_{МАКС} \cdot k_a \cdot k_{одн} + \gamma) \cdot I_{КЗ\ МАКС} = (0,1 \cdot 4 \cdot 1 + 0,05) \cdot 15000 = 6750 \text{ А} . \quad (12.7)$$

Уставку срабатывания ДТО $I_{ДТО}$ рассчитывают по формуле (5.2)

$$I_{ДТО} = K_H \cdot I_{НБ\ МАКС} = 1,5 \cdot 6750 = 10125 \text{ А} . \quad (12.8)$$

12.6 Расчёт уставок ДЗТ

12.6.1 Для определения уставки начального тока срабатывания органов ДЗТ $I_{ДЗТ\ НАЧ}$ используют формулу (6.1), подставив в неё исходные данные

$$I_{ДЗТ\ НАЧ} = K_{ОТС} \cdot I_{НАГР\ МАКС} = 1,2 \cdot 980 = 1176 \text{ А} . \quad (12.9)$$

Для нахождения максимального тока небаланса в рабочем режиме $I_{НБ\ РАБ}$ используют формулу (6.2), подставив в неё исходные данные

$$I_{НБ\ РАБ} = (\varepsilon_{НАГР\ МАКС} + \gamma) \cdot I_{НАГР\ МАКС} = (0,1 + 0,05) \cdot 980 = 147 \text{ А} . \quad (12.10)$$

Используя исходные данные и формулу (6.3) находят уставку срабатывания ступени ДЗШ, действующей на сигнализацию небаланса при обрыве вторичных цепей ТТ $I_{НБ}$

$$I_{НБ\ СРАБ} = K_{ОТС} \cdot I_{НБ\ РАБ} = 1,4 \cdot 147 = 206 \text{ А} . \quad (12.11)$$

Уставка срабатывания $I_{НБ\ СРАБ}$ 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, действующая на сигнализацию о небалансе, может быть введена в работу.

Используя формулу (6-5) находят коэффициент торможения K_T органов ДЗТ

$$K_T = \frac{I_{ДТО} - I_{НБ\ РАБ}}{I_{КЗ\ МАКС} - I_{НАГР\ МАКС}} = \frac{10125 - 147}{15000 - 980} = 0,71 . \quad (12.12)$$

Для нахождения уставки тока начала торможения $I_{НТ}$ органов ДЗТ используют формулу (6-6)

$$I_{НТ} = I_{НАГР\ МАКС} \cdot \left(1 + \frac{1,05}{K_T} \right) = 980 \cdot \left(1 + \frac{1,05}{0,71} \right) = 2429 \text{ А} . \quad (12.13)$$

Для определения уставки срабатывания $I_{ДЗТ\ НАЧ. Ч}$ "чувствительных" органов ДЗТ используют формулу (6.7)

$$I_{ДЗТ.НАЧ.ч} = K_H \cdot \varepsilon_{НОМ} \cdot K_{БТН} \cdot I_{ном тр ПС "Западная"} \cdot \quad (12.14)$$

Расчёт $I_{ДЗТ.НАЧ.ч}$ производят для случая опробования II системы шин, т.к. 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 (12.14) соответствующие исходные данные получим

$$I_{ДЗТ.НАЧ.ч} = 1,5 \cdot 0,1 \cdot 5 \cdot 570 = 428 \text{ А}. \quad (12.15)$$

Коэффициент торможения $K_{Тч}$ участка торможения "чувствительных" органов ДЗТ принимают равным найденному ранее в (12.12) значению K_T :

$$K_{Тч} = K_T = 0,71. \quad (12.16)$$

Уставку по току начала торможения $I_{НТч}$ "чувствительных" органов ДЗТ принимают равной уставке $I_{НТ}$ органов ДЗТ

$$I_{НТч} = I_{НТ} = 2429 \text{ А}. \quad (12.17)$$

12.7 Проверка чувствительности ДЗТ

12.7.1 Коэффициент чувствительности $K_{ч НОРМ}$ органов ДЗТ находят по формуле (6.9), подставляя в неё полученные при расчете данные

$$K_{ч НОРМ} = \frac{I_{КЗ.МИН}}{I_{ДЗТ НАЧ}} = \frac{10050}{1176} = 8,55. \quad (12.18)$$

Используя эту же формулу находят коэффициент чувствительности $K_{ч НОРМ}$ "чувствительных" органов ДЗТ в режиме опробования I системы шин, т.к. значение тока КЗ в этом случае минимально

$$K_{ч НОРМ} = \frac{I_{КЗ.МИН опр \text{ I СШ}}}{I_{ДЗТ НАЧ ч}} = \frac{4200}{428} = 9,81. \quad (12.19)$$

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

12.8 Перевод уставок в относительные единицы

12.8.1 Для ввода полученных уставок в блок БМРЗ переводят полученные в именованных единицах значения уставок в относительные единицы, учитывая что номинальный ток базисного присоединения $I_{НОМ Б} = 1000 \text{ А}$.

12.8.2 Уставки срабатывания в относительных единицах будут равны:
- для ДТО

$$I_{ДТО} = \frac{10125 \text{ А}}{1000 \text{ А}} = 10,13; \quad (12.20)$$

- для начального тока срабатывания ДЗТ

$$I_{ДЗТ НАЧ} = \frac{1176 \text{ А}}{1000 \text{ А}} = 1,18 ; \quad (12.21)$$

- для "чувствительного" органа ДЗТ

$$I_{ДЗТ НАЧ Ч} = \frac{428 \text{ А}}{1000 \text{ А}} = 0,43 ; \quad (12.22)$$

- для тока начала торможения ДЗТ

$$I_{НТ} = \frac{2429 \text{ А}}{1000 \text{ А}} = 2,43 ; \quad (12.23)$$

- для ступени сигнализации о небалансе

$$I_{НБ} = \frac{206 \text{ А}}{1000 \text{ А}} = 0,21 . \quad (12.24)$$

12.8.3 Рассчитанные и выбранные уставки, подготовленные для ввода в блок БМРЗ, сведены в таблице 12.2.

Таблица 12.2 – Уставки защиты для ввода в блок БМРЗ

Уставка	Обозначение	Значение
Номинальный ток ПТН для присоединений с $K_{ТТ} = 1000/5$, А	$I_{НОМ ПТН}$	2,5
Номинальный ток ПТН для присоединений с $K_{ТТ} = 600/5$, А	$I_{НОМ ПТН}$	2,5
Ток срабатывания ДТО, о.е.	$I_{ДТО}$	10,13
Ток сигнализации о небалансе, о.е.	$I_{НБ}$	0,21
Начальный ток срабатывания ДЗТ, о.е.	$I_{ДЗТ НАЧ}$	1,18
Ток начала торможения ДЗТ, о.е.	$I_{НТ}$	2,43
Коэффициент торможения ДЗТ, о.е.	K_T	0,71
Начальный ток срабатывания "чувствительного" органа ДЗТ, о.е.	$I_{ДЗТ НАЧ Ч}$	0,43
Ток начала торможения "чувствительного" органа ДЗТ, о.е.	$I_{НТ Ч}$	2,43
Коэффициент торможения "чувствительного" органа ДЗТ, о.е.	$K_{Т Ч}$	0,71

12.8.4 По данным, сведенным в таблицу 12.2, построены характеристики срабатывания защиты (рисунок 12.2).

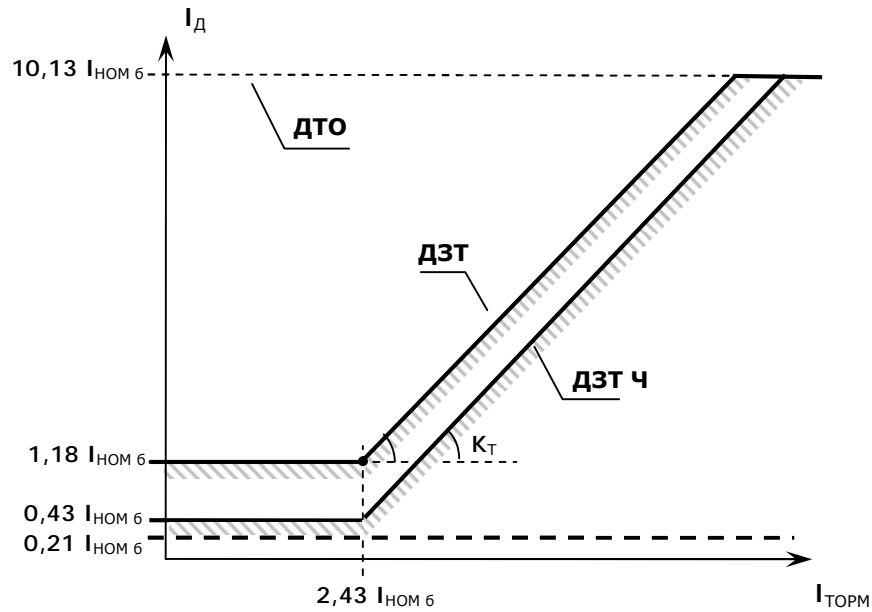


Рисунок 12.2 - Характеристики ДТО, ДЗТ и "чувствительного" органа ДЗТ (ДЗТ Ч)

Литература

1. Правила устройства электроустановок. Шестое издание.
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. Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-ДЗШ. Руководство по эксплуатации. ДИВГ.648228070-05 РЭ.
5. Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-ДЗО. Руководство по эксплуатации. ДИВГ.648228070-32 РЭ.
6. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. 549 с.: ил.
7. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 6. Устройства резервирования при отказе выключателей 35—500 кВ. М. - Л., "Энергия", 1966.
8. Голанцов Е.Б., Молчанов В.В. Дифференциальные защиты трансформаторов с реле типа ДЗТ-21 (ДЗТ-23). М.: Энергоатомиздат, 1990.
9. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов. М.: Энергоатомиздат, 1989.
10. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 12. Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110 – 500 кВ. Расчеты. – М.: Энергия, 1980.

УДК 621.316.9:621.313.13

Ключевые слова: дифференциальная токовая защита шин, расчёт уставок защиты шин, короткое замыкание, чувствительность защиты

**Генеральный директор
ООО "НТЦ "Механотроника"**

Шейкин И.С.

Генеральный конструктор

Гондуров С.А.

Заведующий кафедрой Релейной
защиты и автоматики электрических
станций,
сетей и систем
Петербургского Энергетического
Института Повышения
Квалификации
к.т.н.

Соловьёв А.Л.

Начальник отдела системотехники

Пирогов М.Г.

Начальник бюро разработки
эксплуатационной документации

Карлова И.А.

Заместитель начальника управления
по качеству

Захаров О.Г.

Ведущий инженер-системотехник

Чепелев В.Н.

Ведущий инженер-проектировщик

Василевский Д.С.

Инженер-системотехник

Илюхин Е.В.

Нормоконтролер

Ермоленко Л.М.

