



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ЭКРА»

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЁТУ УСТАВОК
ШКАФА ЗАЩИТ И АВТОМАТИКИ УПРАВЛЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ
КОНДЕНСАТОРНОЙ БАТАРЕИ
ШЭ2607 017
(версия программного обеспечения 017_400)**

Редакция от 25.09.2023

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	6
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	7
1 Состав защит	8
2 Первичные схемы.....	9
3 Расчёт базисных токов.....	14
4 Выбор уставок дифференциальной токовой защиты БСК.....	15
4.1 Определение начального тока срабатывания ДТЗ БСК.....	15
4.2 Ток начала торможения ДТЗ БСК	16
4.3 Ток торможения блокировки.....	16
4.4 Коэффициент торможения	16
4.5 Ток срабатывания дифференциальной отсечки	18
4.6 Задержка срабатывания ДТЗ БСК	19
4.7 Ток срабатывания ПО контроля обрыва цепей тока.....	20
4.8 Задержка срабатывания контроля обрыва цепей тока.....	20
4.9 Назначение программных накладок	20
5 Выбор уставки дифференциальной защиты от КЗ на землю (ДТЗ НП).....	21
5.1 Задержка срабатывания ДТЗ НП БСК	22
5.2 Назначение программных накладок	22
6 Выбор уставок дифференциальной защиты ошиновки (ДЗОш).....	23
6.1 Ток начала торможения ДЗОш.....	23
6.2 Начальный ток срабатывания ДЗОш	23
6.3 Коэффициент торможения ДЗОш	24
6.4 Проверка чувствительности ДЗОш	26
6.5 Задержка срабатывания ДЗОш.....	29
6.6 Ток срабатывания ПО контроля обрыва цепей тока.....	29
6.7 Задержка срабатывания контроля обрыва цепей тока.....	29
6.8 Назначение программных накладок	29
7 Выбор уставок максимальной токовой защиты (МТЗ ВН)	30
7.1 Ток срабатывания I ступени МТЗ ВН	30
7.2 Ток срабатывания II ступени МТЗ ВН	30
7.3 Выбор выдержки времени II ступени МТЗ ВН.....	30
8 Выбор уставки защиты от перегрузки (ЗПВГ).....	31
8.1 Ток срабатывания ПО ЗПВГ	31
8.2 Выбор выдержки времени	31
9 Выбор уставки защиты от повышения напряжения (ЗПН).....	32
10 Выбор уставки защиты минимального напряжения (ЗМН).....	33
11 Выбор уставки защиты от внутренних повреждений (ЗВП).....	34

11.1	Расчёт тока небаланса	34
11.2	Ток срабатывания отключающей ступени	36
11.3	Выбор выдержки времени отключающей ступени	36
11.4	Ток срабатывания сигнальной ступени.....	36
11.5	Выбор выдержки времени сигнальной ступени.....	37
12	Выбор уставки токовой ненаправленной защиты нулевой последовательности на стороне высоковольтных вводов БСК (ТЗНП ВН)	38
12.1	Расчёт I ступени ТЗНП ВН.....	38
12.2	Расчёт II ступени ТЗНП ВН.....	38
12.3	Проверка чувствительности ТЗНП ВН БСК.....	38
13	Выбор уставки токовой ненаправленной защиты нулевой последовательности на стороне нейтральных выводов БСК (ТЗНП нейтрали)	39
13.1	Расчёт тока срабатывания.....	39
13.2	Расчёт выдержки времени.....	39
14	Максимальная токовая защита обратной последовательности на стороне высоковольтных вводов БСК (ТЗОП ВН)	40
14.1	Расчёт тока срабатывания ПО ТЗОП.....	40
14.2	Расчёт выдержки времени.....	40
14.3	Проверка чувствительности ТЗОП БСК.....	40
15	Выбор уставок УРОВ	41
15.1	Расчёт тока срабатывания ПО УРОВ.....	41
15.2	Расчёт выдержек времени.....	41
15.3	Назначение программных накладок УРОВ	41
16	Выбор уставок АУВ	43
16.1	Выбор уставки АПВ	43
16.2	Выбор напряжения срабатывания ПО максимального напряжения шин.....	43
16.3	Выбор времени готовности АПВ	43
16.4	Выбор времени задержки включения выключателя.....	43
16.5	Выбор времени включения от АПВ	43
16.6	Выбор времени сброса готовности АПВ при отключенном выключателе	44
16.7	Выбор времени задержки на срабатывание защиты ЭМУ.....	44
16.8	Уставки ЗНФ и ЗНФР.....	45
16.9	Выбор времени импульса управления выключателем	45
16.10	Назначение программных накладок АУВ.....	45
16.11	Расчёт уставок АСН	46
16.12	Выбор задержки на срабатывание АСН	47
16.13	Выбор времени включения от АСН.....	47
17	Пример расчета РЗА БСК 110 кВ.....	48

17.1	Технические параметры конденсаторной батареи	48
17.2	Технические параметры конденсаторов.....	48
17.3	Технические параметры трансформаторов тока	48
17.4	Технические параметры реактора	49
17.5	Расчёт базисных токов	50
17.6	Выбор уставок дифференциальной токовой защиты БСК	51
17.7	Выбор уставки дифференциальной защиты от КЗ на землю (ДТЗ НП).....	54
17.8	Выбор уставок максимальной токовой защиты стороны ВН	54
17.9	Выбор уставки защиты от перегрузки (ЗПВГ).....	55
17.10	Выбор уставки защиты от повышения напряжения (ЗПН)	55
17.11	Выбор уставки защиты минимального напряжения (ЗМН).....	56
17.12	Выбор уставки защиты от внутренних повреждений (ЗВП).....	56
17.13	Выбор уставки токовой ненаправленной защиты нулевой последовательности на стороне ВН БСК (ТЗНП ВН).....	57
17.14	Выбор уставки токовой ненаправленной защиты нулевой последовательности на стороне нейтральных выводов БСК (ТЗНП НВ).....	58
17.15	Максимальная токовая защита обратной последовательности на стороне высоковольтных вводов БСК (ТЗОП ВН).....	59
17.16	Выбор уставок УРОВ	59
17.17	Выбор уставок АУВ.....	60
17.18	Расчёт уставок АСН.....	61

ВВЕДЕНИЕ

В настоящих рекомендациях рассматриваются расчётные условия выбора уставок функций защиты и автоматики батареи статических конденсаторов (БСК), реализованных в микропроцессорном устройстве шкафа защиты ШЭ2607 017 (версия ПО 017_400) производства ООО «НПП «ЭКРА».

В рекомендациях приводится расчёт релейной защиты и автоматики батарей статических конденсаторов напряжением 110 – 220 кВ, присоединённых к системам или секциям шин напряжением 110 – 220 кВ, как через один, так и через два выключателя.

В рекомендациях рассматриваются БСК с соединением фаз в «звезду» с заземлением, включаемые на напряжение 110-220 кВ, и не рассматриваются БСК с внутренней форсировкой или регулированием мощности изменением внутренней схемы включением или отключением части параллельных ветвей батареи.

Режимы параллельной работы БСК и управляемого подмагничиванием шунтирующего реактора в настоящих рекомендациях не рассматриваются.

Рекомендации соответствуют руководству по эксплуатации на шкаф ШЭ2607 017 ЭКРА.656453.135 РЭ и содержащимся в них рекомендациям по расчёту параметров срабатывания, правилам устройства электроустановок (ПУЭ), СТО 56947007-29.120.70.241-2017 «Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА» и другим руководящим материалам, а также учитывают рекомендации и отзывы энергетических систем и проектных организаций.

Рекомендации соответствуют СТО 56947007-29.120.70.186-2014 Методические указания по расчёту и выбору параметров настройки (уставок) микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики производства «Siemens AG», «ООО НПП «ЭКРА», «ABB», «GE Multilin» и «Alstom Grid» / «AREVA» для батарей статических конденсаторов напряжением 110-330 кВ.

Данный документ носит рекомендательный характер и предназначен для проектных и эксплуатационных организаций.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АСН	автоматика снижения напряжения
АУВ	автоматика управления выключателем
АПВ	автоматическое повторное включение
БНН	устройство блокировки при неисправностях в цепях напряжения
БСК	батарея статических конденсаторов
ВН	высокое напряжение
ДЗШ	дифференциальная защита шин
ДТЗ БСК	дифференциальная токовая защита БСК
ДТЗ НП БСК	дифференциальная токовая защита нулевой последовательности БСК
ЗВП	защита от внутренних повреждений
ЗМН	защита минимального напряжения
ЗНФ	защита от непереключения фаз
ЗНФР	защита от неполнофазного режима
ЗПВГ	защита от перегрузки токами высших гармонических составляющих
ЗПН	защита от повышения напряжения
ИО	измерительный орган
КЗ	короткое замыкание
КСС (РКВ)	реле команды включения
КСТ (РКО)	реле команды отключения
МТЗ	максимальная токовая защита
НВ	нейтральный вывод
НП	нулевая последовательность
НПП	научно-производственное предприятие
ПО	пусковой орган
ПУЭ	правила устройства электроустановок
РЗА	релейная защита и автоматика
РПВ (КQC)	реле положения «Включено» выключателя
РЭ	руководство по эксплуатации
СП	средняя перемычка (соединяет средние точки обоих плеч фазы БСК)
СТО	стандарт организации
СШ	система шин
ТЗНП	токовая защита нулевой последовательности
ТЗОП	токовая защита обратной последовательности
ТЗП	токовая защита от перегрузки
ТН	измерительный трансформатор напряжения
ТТ	измерительный трансформатор тока
УРОВ	устройство резервирования при отказе выключателя
ЭМ	электромагнит
ЭМВ	электромагнит включения
ЭМО1 (2)	электромагнит отключения первый (второй)
ЭМУ	электромагниты управления

1 Состав защит

В шкафу ШЭ2607 017 реализованы следующие основные и резервные защиты БСК:

- максимальная токовая защита, подключённая к ТТ в цепи выключателя на стороне ВН БСК (МТЗ ВН).

- токовая защита нулевой последовательности, подключённая к ТТ в цепи выключателя на стороне ВН БСК (ТЗНП ВН).

- токовая защита нулевой последовательности, подключённая к ТТ на стороне нейтрали БСК (ТЗНП НВ).

- токовая защита от перегрузки БСК токами высших гармоник, подключённая к ТТ в цепи выключателя на стороне ВН БСК (ЗПВГ).

- защита минимального напряжения шин БСК (ЗМН).

- защита от повышения напряжения шин БСК (ЗПН).

- отдельная максимальная токовая защита БСК, имеющая две параллельные ветви в каждой фазе и отдельный ТТ в цепи проводника, соединяющего средние точки обоих плеч фазы батареи (защита от внутренних повреждений, ЗВП).

- продольная дифференциальная токовая защита БСК (ДТЗ БСК), зона которой включает БСК и ошиновку ВН БСК.

- ограниченная токовая защита нулевой последовательности БСК, зона которой включает БСК и ошиновку ВН БСК (ДТЗ НП БСК).

- дифференциальная токовая защита ошиновки (ДЗОш) от всех видов КЗ на стороне ВН БСК (только для второй схемы подключения защит);

- максимальная токовая защита обратной последовательности, подключённая к ТТ в цепи выключателя на стороне ВН БСК (ТЗОП ВН).

- защита от непереключения фаз и неполнофазного режима работы БСК (ЗНФР);

- функция резервирования отказа выключателя БСК (УРОВ).

Помимо защит, шкаф ШЭ2607 017 содержит автоматику управления выключателем (АУВ) БСК. Расчёт уставок АУВ также приведён в данных рекомендациях.

2 Первичные схемы

В шкафу предусмотрена возможность выбора определённого набора защит. Выбор набора используемых защит осуществляется уставкой «**Схема БСК**».

Варианты первичных схем доступных для защиты представлены на рисунках 2 и 4. Под первичную конфигурацию объекта выбирается наиболее подходящий номер схемы, который далее задаётся в виде уставки «Схема БСК (1 или 2)». По значению уставки производится программная привязка измерительных органов к выбранным защитам.

Трансформаторы тока ТА1, ТА3, ТА4, ТА5 и ТА6 – физические датчики тока (ДТ) терминала, измеряющие реально поданные величины токов для дифференциальных защит (ДТЗ, ДЗОш, ДТЗ НП), ТА2.1, ТА2.2, ТА2.3 – физические датчики тока небалансной защиты (защита от внутренних повреждений БСК), ТА7 – виртуальный датчик тока, выполняющий расчёт токов для измерительных органов защит ТЗНП ВН, МТЗ ВН, ТЗОП ВН, ЗПВГ, УРОВ.

Схема подключения аналоговых цепей шкафа ШЭ2607 017 к БСК показана на рисунках 1 и 3.

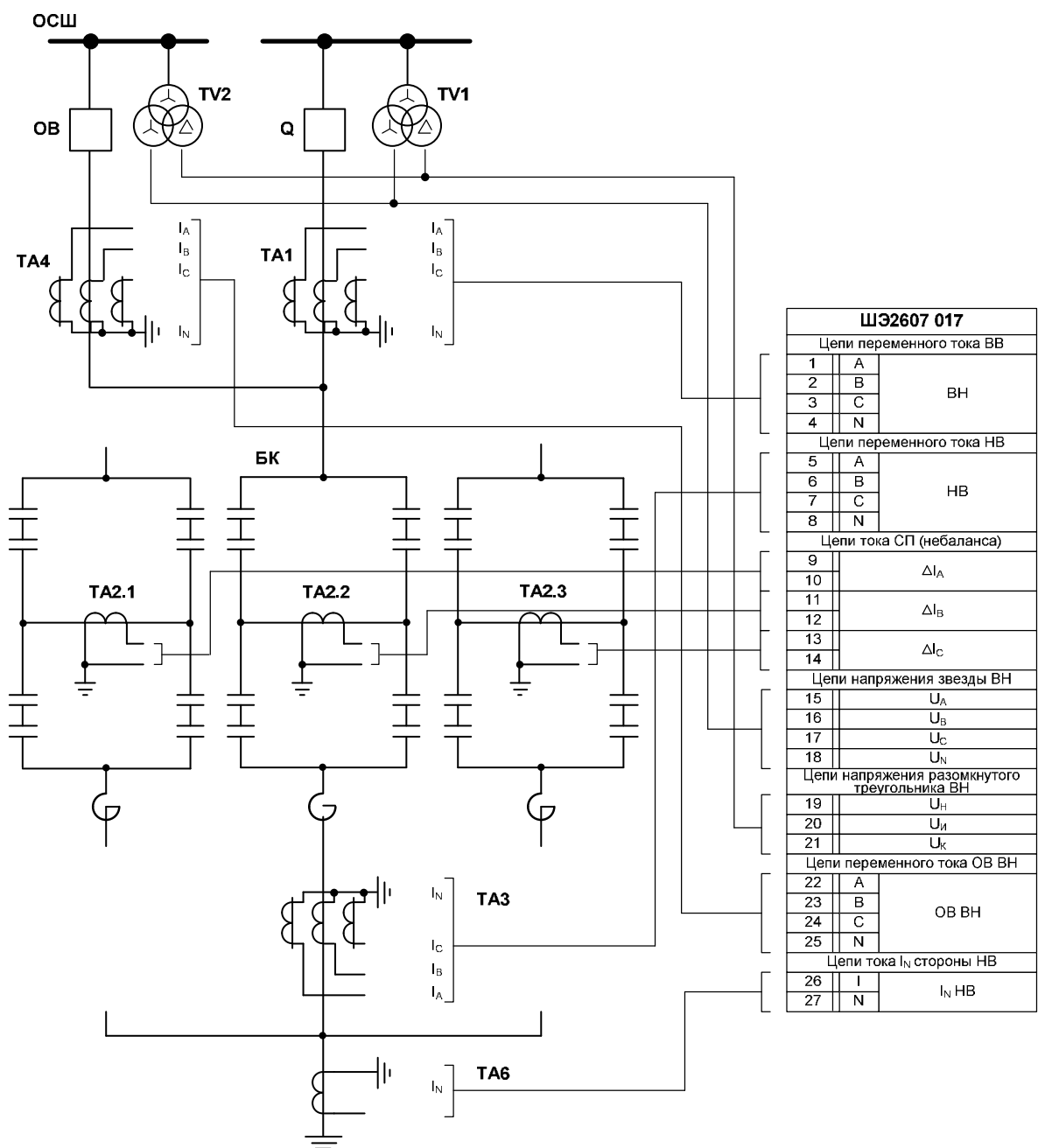


Рисунок 1 – Схема подключения шкафа ШЭ2607 к БСК 110-220 кВ

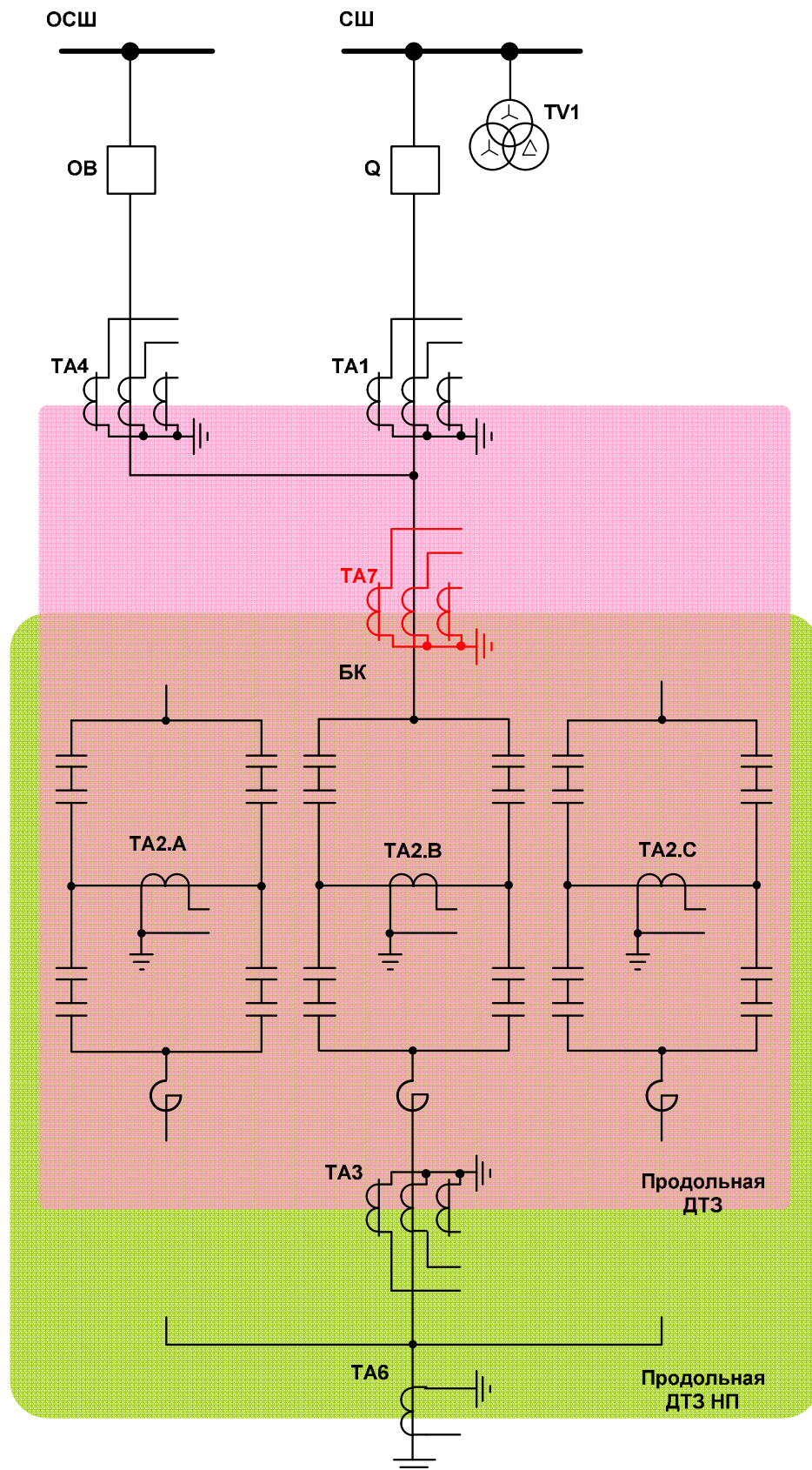


Рисунок 2 – Первая схема подключения защит БСК

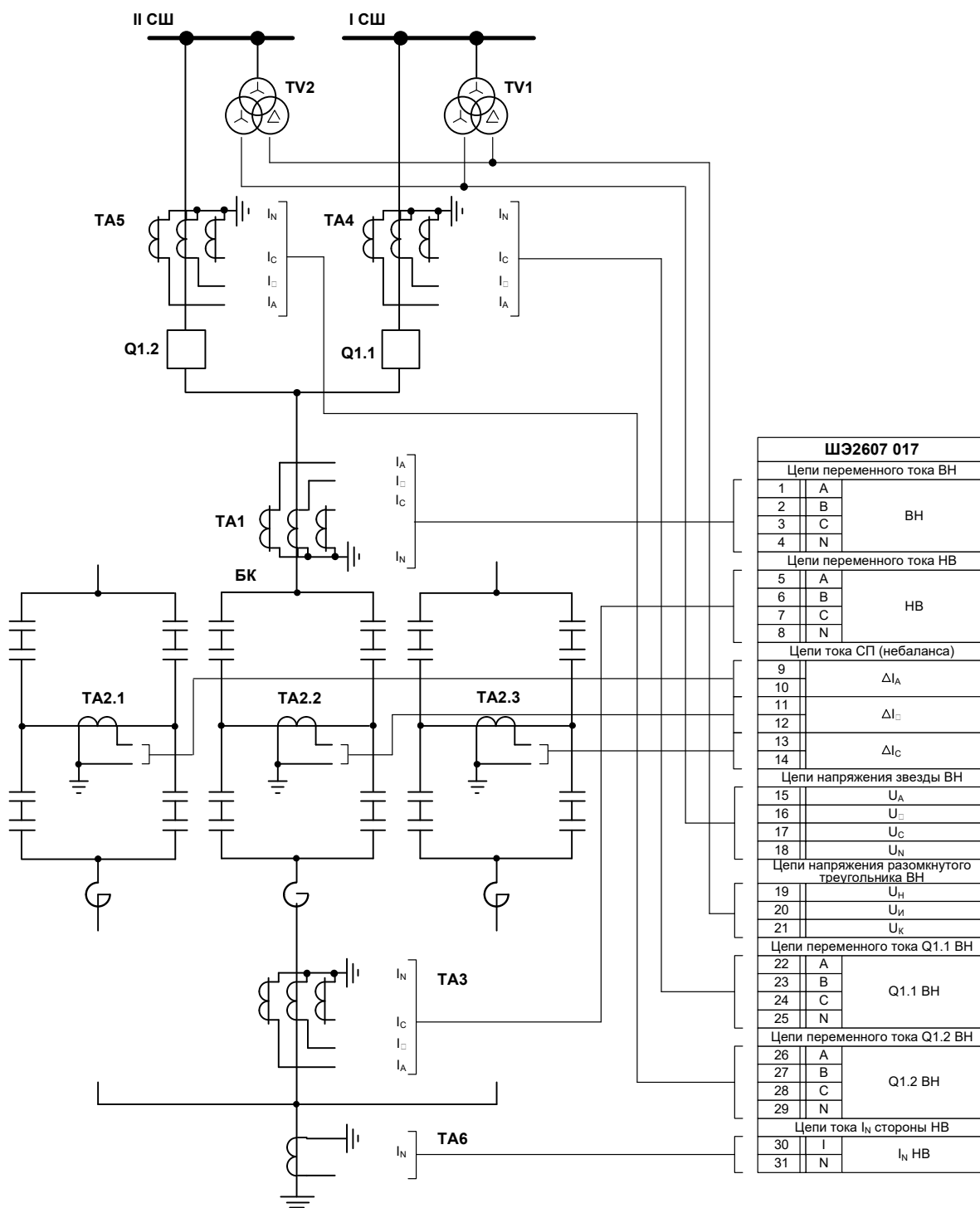


Рисунок 3 – Схема подключения шкафа ШЭ2607 к БСК 330 кВ

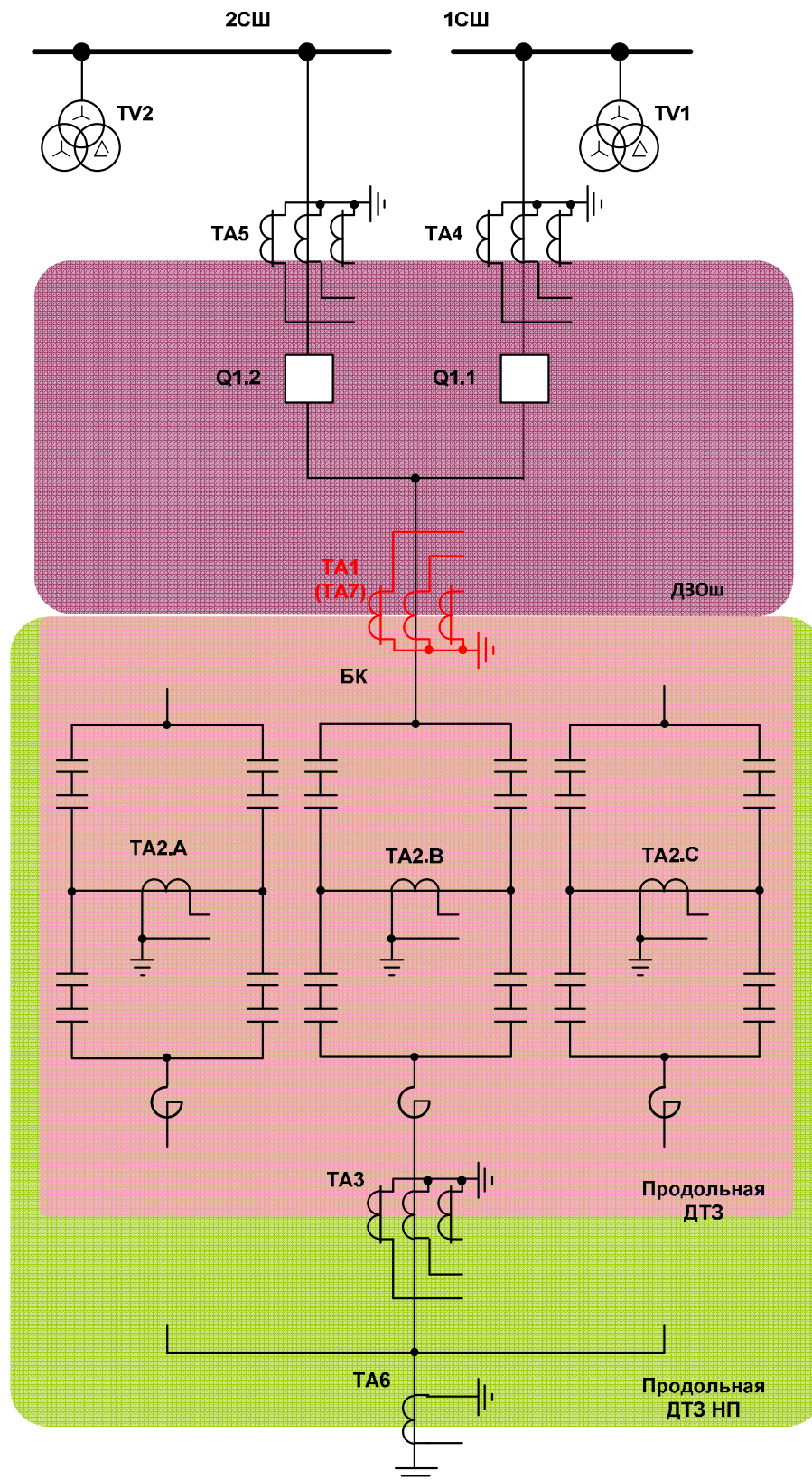


Рисунок 4 – Вторая схема подключения защит БСК

3 Расчёт базисных токов

Первичная величина базисного тока принимается равной коэффициенту трансформации ТТ стороны ВН.

Вторичные величины базисных токов вычисляются терминалом автоматически по выражениям:

$$I'_{\text{БАЗ.ВН}} = \frac{I_{\text{БАЗ.ВН}}}{K_{\text{ТТ ВН}}}; \quad I'_{\text{БАЗ.НВ}} = \frac{I_{\text{БАЗ.НВ}}}{K_{\text{ТТ НВ}}} \quad (1,2)$$

где $I'_{\text{БАЗ}}$ – базисный ток (вторичная величина) соответствующей стороны БСК, А;

$K_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации трансформатора тока соответствующей стороны БСК.

Базисный ток ДТЗ НП равен базисному току стороны ВН. Вторичные величины рассчитываются автоматически исходя из коэффициентов трансформации ТТ установленных на стороне ВН и в нейтральном проводнике.

$$I'_{\text{БАЗ.ДТЗ.НП.ВН}} = \frac{I_{\text{БАЗ.ВН}}}{K_{\text{ТТ.ВН}}}; \quad I'_{\text{БАЗ.ДТЗ.НП.Н}} = \frac{I_{\text{БАЗ.ВН}}}{K_{\text{ТТ.Н}}} \quad (3,4)$$

где $I'_{\text{БАЗ}}$ – базисный ток (вторичная величина) соответствующей стороны БСК, А;

$K_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации трансформатора тока соответствующей стороны БСК.

Для небалансной защиты, за базисный ток должно приниматься значение первичной величины ТТ небалансной защиты. В случае, если вторичные обмотки ТТ небалансной защиты соединены параллельно, за базисный ток принимается удвоенное значение первичной величины.

4 Выбор уставок дифференциальной токовой защиты БСК

Дифференциальная защита действует при междуфазных и однофазных КЗ в защищаемой зоне, ограниченной трансформаторами тока, установленными в цепи высоковольтных вводов и в цепи каждой фазы выводов на стороне нейтрали БСК.

Для дифференциальной защиты БСК выбираются уставки:

- ток срабатывания ДТЗ БСК;
- ток начала торможения ДТЗ БСК;
- ток торможения блокировки ДТЗ БСК;
- коэффициент торможения ДТЗ БСК;
- ток срабатывания дифференциальной отсечки ДТЗ БСК;
- задержка на срабатывание ДТЗ БСК.

4.1 Определение начального тока срабатывания ДТЗ БСК

Относительный начальный ток срабатывания ДТЗ БСК (чувствительного органа) $I_{\text{ДО}^* \text{РАСЧ}}$ при отсутствии торможения определяется с помощью выражения:

$$I_{\text{ДО}^* \text{РАСЧ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{НБ РАСЧ}^*}, \text{ о.е.} \quad (5)$$

где $K_{\text{ОТС}}$ - коэффициент отстройки, учитывающий погрешности измерительного органа терминала, ошибки расчёта и необходимый запас. Может быть принят равным $K_{\text{ОТС}} = 1,1$.

Значение $I_{\text{НБ РАСЧ}^*}$ определяется с помощью выражения:

$$I_{\text{НБ РАСЧ}^*} = K_{\text{ПЕР.}} \cdot K_{\text{ОДН.}} \cdot \varepsilon + \Delta f_{\text{ВЫР.}}, \text{ о.е.} \quad (6)$$

где $K_{\text{ПЕР.}}$ – коэффициент, учитывающий переходный процесс.

$K_{\text{ПЕР.}} = 1,5$ – при использовании на разных сторонах защищаемой БСК однотипных трансформаторов тока (только встроенные или только выносные);

$K_{\text{ПЕР.}} = 2$ – при использовании на разных сторонах защищаемой БСК разнотипных трансформаторов тока.

$K_{\text{ОДН.}}$ – коэффициент однотипности трансформатора тока; принимается равным 0,5, поскольку ТТ обтекаются сквозным током;

ε - относительное значение полной погрешности ТТ в режиме, соответствующем установившемуся КЗ. Полная погрешность для ТТ 5Р и 10Р составляет 0,05 и 0,10 соответственно;

$\Delta f_{\text{ВЫР.}}$ – относительная погрешность выравнивания токов плеч. Данная погрешность определяется погрешностями входных ТТ и аналого-цифровыми преобразователями терминала. Может быть принята $\Delta f_{\text{ВЫР.}} = 0,02$.

Кроме того, уставка $I_{ДО*РАСЧ}$ может выбираться из условия обеспечения чувствительности ДТЗ БСК

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{Д.МИН}}}{I_{\text{ДО*РАСЧ}}} \geq 2 \quad (7)$$

где $K_{\text{ч}}$ – коэффициент чувствительности;

$I_{\text{Д.МИН}}$ – минимальный дифференциальный ток при металлическом КЗ в зоне действия ДТЗ вблизи заземлённой нейтрали БСК. В режиме номинальной нагрузки упрощённо может быть принят равным номинальному току БСК $I_{\text{Д.МИН}} = I_{\text{НОМ.БСК}}$;

$$I_{\text{ДО*РАСЧ}} \leq \frac{I_{\text{Д.МИН}}}{K_{\text{ч}}} = \frac{I_{\text{НОМ.БСК}}}{2} \quad (8)$$

Сравнивая полученные результаты расчёта $I_{\text{ДО*РАСЧ}}$ по выражениям (5) и (8) выбираем большую уставку, поскольку более чувствительная уставка может привести к излишнему срабатыванию ДТЗ БСК при насыщении трансформаторов тока.

4.2 Ток начала торможения ДТЗ БСК

Ток начала торможения принимается равным $I_{\text{Т0}} = I_{\text{НОМ.БСК}}$.

Во вторичных величинах:

$$I_{\text{Т0}} = \frac{I_{\text{НОМ.БСК}}}{I_{\text{БАЗ.СТОП}} \cdot K_{\text{ТТ}}}, \text{ о.е.} \quad (9)$$

где $I_{\text{НОМ.БСК}}$ – номинальный ток БСК, А;

$K_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации ТТ ВН.

4.3 Ток торможения блокировки

Ток торможения блокировки определяется исходя из отстройки от максимально возможного сквозного тока нагрузки БСК и может быть принят равным

$$I_{\text{Т.БЛ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot K_{\text{ПРЕД.НАГР}} \cdot \frac{I_{\text{НОМ.БСК}}}{I_{\text{БАЗ.СТОП}} \cdot K_{\text{ТТ}}}, \text{ о.е.} \quad (10)$$

где $K_{\text{ОТС}} = 1,1$ – коэффициент отстройки;

$K_{\text{ПРЕД.НАГР}} = 1,1$ – коэффициент, определяющий предельную нагрузочную способность БСК;

$I_{\text{НОМ.БСК}}$ – номинальный ток БСК, А;

$K_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации ТТ.

4.4 Коэффициент торможения

С помощью правильного выбора коэффициента торможения обеспечивается несрабатывание ДТЗ БСК в диапазоне значений тормозного тока от $I_{\text{Т0}}$ до $I_{\text{Т.БЛ}}$.

Если по защищаемой БСК протекает $I_{СКВ}$, то он может вызвать дифференциальный ток, который можно определить по выражению:

$$I_D = (K_{ПЕР.} \cdot K_{ОДН.} \cdot \varepsilon + \Delta f_{ВЫР.}) \cdot I_{СКВ}, \text{ о.е.} \quad (11)$$

где ε - относительное значение полной погрешности ТТ в режиме КЗ. Для ТТ 10Р погрешность принимается – 0,1, а для ТТ 5Р – 0,05;

$$I_{СКВ.} = \frac{I_{ВКЛ.БСК}}{I_{БАЗ.СТОП} \cdot K_{ТТ}} \text{ о.е. - максимальное значение тока, равное току включения}$$

БСК, приведённое к базисному току.

Действующее значение тока включения БСК может быть определено по формуле

$$I_{ВКЛ.БСК} = \sqrt{2} \cdot I_{НОМ.БСК} \left(K_U + \sqrt{\frac{W_{КЗ}}{Q_{Н.БСК}}} \right) \quad (12)$$

где $I_{НОМ.БСК}$ – номинальный ток БСК, А;

$W_{КЗ}$ – мощность КЗ на шинах, в месте установки БСК, МВА;

$Q_{Н.БСК}$ – номинальная мощность БСК, МВАр;

K_U – коэффициент загрузки конденсаторов по напряжению;

В свою очередь коэффициент загрузки конденсаторов по напряжению определяется по формуле

$$K_U = \frac{U_{РАСЧ}}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{Н.К.}} \quad (13)$$

где $U_{РАСЧ}$ – расчётное напряжение БСК, В;

n – количество рядов конденсаторов;

$U_{Н.К.}$ – номинальное напряжение конденсатора, В.

Коэффициент загрузки K_U может быть принят равным 1,0.

При наличии двух батарей, включаемых параллельно, каждая из которых со своим выключателем, ток включения второй батареи будет больше. Расчётным является режим, когда одна батарея включена и включается вторая.

Ток включения второй батареи определяется по формуле:

$$I_{ВКЛ} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_P \cdot C_1}{\sqrt{3} \cdot X_0 \cdot (C_0 + C_1)} \cdot \sqrt{\frac{1}{314^2 \cdot (L_0 + L_P) \cdot C}}, \text{ А} \quad (14)$$

где U_P – номинальное (расчётное) напряжение БСК, кВ;

$X_0 = \frac{1}{\omega \cdot C}$ – эквивалентное (расчётное) реактивное сопротивление ранее

включенных БСК, Ом.

Параметр C определяется по формуле:

$$C = \frac{C_0 \cdot C_1}{C_0 + C_1} \quad (15)$$

где C_0 – эквивалентная емкость фазы ранее включенных БСК, учитываемая как сумма емкостей батарей, Ф;

C_1 – емкость фазы включаемой БСК, Ф;

L_0 – эквивалентная индуктивность схемы замещения (Гн), включающая:

- индуктивность ошиновки между включёнными и включаемой батареями (удельную индуктивность ошиновки можно принять равной $1,27 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$, при наличии нескольких включенных БСК должно учитываться среднее расстояние);

- эквивалентную индуктивность токоограничивающих реакторов ранее включенных БСК, которая в целях упрощения (в большинстве случаев) может рассматриваться как суммарная величина индуктивностей токоограничивающих реакторов БСК, при их параллельном включении;

L_p – индуктивность токоограничивающего реактора включаемой БСК, Гн.

При принятом способе формирования торможения для ДТЗ БСК, тормозной ток равен:

$$I_T = \sqrt{I_{СКВ} \cdot (I_{СКВ} - I_D) \cdot \cos \beta}, \beta = 180 - \alpha \quad (16)$$

где α - угол между векторами токов $I_{СКВ}$ и $(I_{СКВ} - I_D)$.

В проектных расчётах может быть принят $\beta = 10 - 20^\circ$.

Тогда коэффициент торможения определяется по формуле:

$$K_T \geq \frac{K_{ОТС} \cdot I_D - I_{ДО}}{I_T - I_{ТО}} \quad (17)$$

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

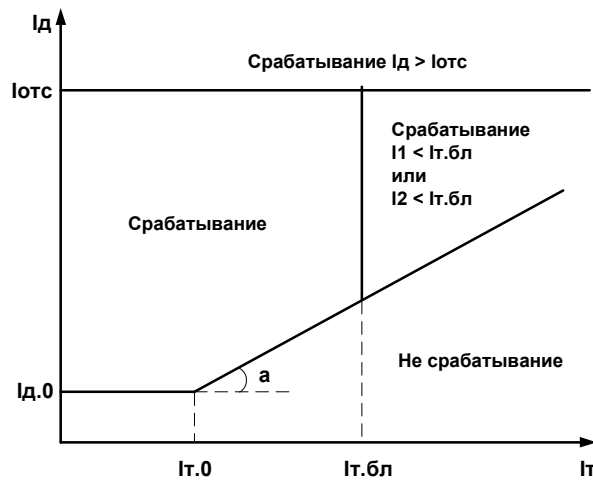
4.5 Ток срабатывания дифференциальной отсечки

Для исключения замедления работы ДТЗ БСК при больших токах внутреннего повреждения вследствие блокировки защиты из-за погрешности ТТ в переходном режиме предусмотрена вторая грубая ступень защиты.

Ток срабатывания дифференциальной отсечки рассчитывается исходя из условий отстройки от максимального первичного тока небаланса при включении БСК.

$$I_D = 1,5 \cdot I_{СКВ} \cdot (K_{ПЕР} \cdot K_{ОДН} \cdot \varepsilon + \Delta f_{ВЫР.}), \text{ о.е.} \quad (18)$$

где $K_{ПЕР} = 3,0$ - коэффициент, учитывающий переходной режим, остальные составляющие см. в «Определение начального тока срабатывания ДТЗ БСК».



$I_{д.0}$ - начальный ток срабатывания ДТЗ;
 $I_{т.0}$ - ток начала торможения ДТЗ;
 $I_{т.бл}$ - ток торможения блокировки ДТЗ;
 $K_t = \operatorname{tg} \alpha$ - коэффициент торможения ДТЗ;
 $I_{отс}$ - ток срабатывания дифференциальной отсечки.

Рисунок 5 - Характеристика срабатывания ДТЗ БСК

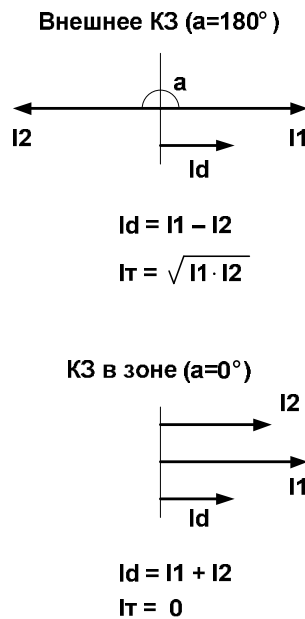


Рисунок 6 - Определение дифференциального и тормозного тока ДТЗ БСК

4.6 Задержка срабатывания ДТЗ БСК

Включение БСК характеризуется токами включения, кратно превышающими номинальный ток БСК, особенно это касается режима включения второй батареи в параллель уже включённой первой. При неправильно выбранных трансформаторах тока, возможно их насыщение и излишнее срабатывание дифференциальной защиты. По этой причине, для исключения ложной работы дифференциальной защиты, введена задержка срабатывания ДТЗ БСК. Необходимость введения задержки и её величина определяются в каждом конкретном случае индивидуально, после анализа осциллограмм процесса включения БСК.

По умолчанию, задержка на срабатывание равна нулю.

4.7 Ток срабатывания ПО контроля обрыва цепей тока

Ток срабатывания ПО контроля обрыва (неисправности) цепей переменного тока выбирается в два раза более чувствительным чем начальный ток срабатывания чувствительного органа ДТЗ БСК $I_{до*РАСЧ}$.

$$I_{покоцт} = \frac{I_{до*РАСЧ}}{2}, \text{ о.е.} \quad (19)$$

4.8 Задержка срабатывания контроля обрыва цепей тока

Рекомендуемое значение уставки ДТЗ_ДТЗ «Время срабатывания контроля обрыва цепей тока ДТЗ» - 10 с.

4.9 Назначение программных накладок

ХВ1_ДТЗ ДТЗ | не предусмотрена / предусмотрена. При помощи программной накладки осуществляется ввод ДТЗ в работу.

ХВ2_ДТЗ Дифференциальная отсечка | не предусмотрена / предусмотрена. При помощи программной накладки осуществляется ввод дифференциальной отсечки в работу.

ХВ3_ДТЗ Действие диф. отсечки с выдержкой времени | оперативный ввод по входу / введено постоянно. Выдержка времени дифференциальной отсечки вводится либо постоянно, либо при наличии сигнала на дополнительно сконфигурированном дискретном входе.

ХВ4_ДТЗ Действие блокировки ДТЗ при обрыве цепей тока | предусмотрено / не предусмотрено. Ввод блокировки действия ДТЗ при срабатывании пускового органа контроля токовых цепей.

ХВ5_ДТЗ Подхват блокировки ДТЗ при обрыве цепей тока | не предусмотрен / предусмотрен. Предусматривается для блокирования действия ДТЗ до момента возврата (сброса) блокировки оперативным персоналом.

5 Выбор уставки дифференциальной защиты от КЗ на землю (ДТЗ НП)

Основной принцип действия ДТЗ НП основан на измерении и сравнении основной гармоники тока, протекающего в нейтрали с основной гармоникой геометрической суммы фазных токов стороны ВН БСК.

Защищаемая зона ограничивается: ТТ в нейтрали и фазными ТТ на стороне ВН БСК.

При замыкании на землю в защищаемой зоне, в нейтрали будет протекать ток. В сетях с заземлённой нейтралью от энергосистемы будет протекать ток нулевой последовательности, измеряемый как геометрическая сумма токов фаз ТТ на стороне высоковольтных вводов БСК, соединённых по схеме «звезда с нулём». Направление указанных токов в сторону защищаемой зоны, определяется в защите как положительное.

При КЗ на землю вне защищаемой зоны, в нейтрали будет протекать ток одинаковый с током $3I_0$ фазных ТТ на стороне высоковольтных вводов. Указанные токи будут находиться в противофазе.

Дифференциальный ток формируется как модуль геометрической суммы токов сторон ВН и НВ, поступающих на вход ИО ДТЗ НП. Тормозной ток определяется как полусумма модулей токов сторон ВН и НВ:

$$I_{\text{д}} = \left| \frac{3I_{0(\text{ВН})}}{I_{\text{БАЗ.ВН}}} + \frac{3I_{0(\text{НВ})}}{I_{\text{БАЗ.НВ}}} \right|, \text{ о.е.} \quad (20)$$

$$I_{\text{ТОРМ}} = 0,5 \cdot \left(\left| \frac{3I_{0(\text{ВН})}}{I_{\text{БАЗ.ВН}}} \right| + \left| \frac{3I_{0(\text{НВ})}}{I_{\text{БАЗ.НВ}}} \right| \right), \text{ о.е.} \quad (21)$$

где $3I_{0(\text{ВН})}$ – расчётный утроенный ток нулевой последовательности протекающий со стороны ВН БСК, А;

$3I_{0(\text{НВ})}$ – измеренный ток протекающий по нейтрали, А;

$I_{\text{БАЗ.ВН}}$ – базисный ток (первичная величина) стороны ВН БСК, А;

$I_{\text{БАЗ.НВ}}$ – базисный ток (первичная величина) стороны НВ БСК, А.



$I_{д.0}$ - начальный ток срабатывания ДТЗ НП;
 $t_{т.0}$ - ток начала торможения ДТЗ НП;
 $K_t = \tan \alpha$ - коэффициент торможения ДТЗ НП.

Рисунок 7 - Характеристика срабатывания ДТЗ НП БСК

Уставка по току срабатывания:

$$I_{д0} = \frac{0,15 \cdot I_{НОМ}}{I_{БАЗ}}, \text{ о.е.} \quad (22)$$

где $I_{НОМ}$ – номинальный ток БСК, А;

$I_{БАЗ}$ – базисный ток БСК, А.

Коэффициент торможения можно принять равным $K_t = 0,5$.

Уставка по току начала торможения ДТЗ НП:

$$I_{т0} = \frac{K_{отс} \cdot I_{СКВ.Н}}{I_{БАЗ}}, \text{ о.е.} \quad (23)$$

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

$I_{СКВ.Н} = (1,35 \div 1,5) \cdot I_{НОМ}$ – максимальный (сквозной) ток нагрузки БСК, А;

$I_{БАЗ}$ – базисный ток БСК, А.

Чувствительность ДТЗ НП обеспечивается в подавляющем большинстве случаев с большим запасом и необходимость в её проверке практически отсутствует.

5.1 Задержка срабатывания ДТЗ НП БСК

При неправильно выбранных трансформаторах тока, возможно их насыщение и излишнее срабатывание дифференциальной защиты. По этой причине, для исключения ложной работы дифференциальной защиты, введена задержка срабатывания ДТЗ НП БСК. Необходимость введения задержки и её величина определяются в каждом конкретном случае индивидуально.

По умолчанию, задержка на срабатывание равна нулю.

5.2 Назначение программных накладок

ХВ1_ДТЗ НП Действие ДТЗ НП | не предусмотрено / предусмотрено. При помощи программной накладки осуществляется ввод ДТЗ НП в работу.

6 Выбор уставок дифференциальной защиты ошиновки (ДЗОш)

Дифференциальная защита ошиновки вводится в работу в схеме защит №2.

Для дифференциальной защиты ошиновки БСК выбираются уставки:

- ток срабатывания ДЗОш;
- ток начала торможения ДЗОш;
- коэффициент торможения ДЗОш;
- ток срабатывания ПО контроля обрыва (неисправности) цепей переменного тока.

Расчёт базисных токов присоединений ТТ в терминале производится в следующей последовательности (в зависимости от типоразмера шкафа защиты принимаем $I_{ном} = 1 \text{ А}$ или 5 А):

1) при $I_{ном} = 1 \text{ А}$ базисный ток ТТ с наибольшим коэффициентом трансформации (КТТ1) принимается равным $I_{БАЗ} = 1,00 \text{ А}$;

2) при $I_{ном} = 5 \text{ А}$ базисный ток ТТ с наибольшим коэффициентом трансформации (КТТ1) принимается равным $I_{БАЗ} = 5,00 \text{ А}$;

3) базисные токи присоединений с меньшими коэффициентами трансформации (КТТ2) определяются с помощью выражения:

$$I_{БАЗ 2} = I_{БАЗ 1} \cdot \frac{K_{ТТ1}}{K_{ТТ2}}, \text{ А} \quad (24)$$

где $I_{БАЗ 2}$ – базисный ток присоединения с меньшим коэффициентом трансформации ТТ (КТТ2), А;

$I_{БАЗ 1}$ – базисный ток присоединения с наибольшим коэффициентом трансформации ТТ (КТТ1), А.

Расчёт базисных токов плеч защиты производится автоматически.

6.1 Ток начала торможения ДЗОш

Ток начала торможения $I_{Т0}$ задаётся в относительных единицах и регулируется в диапазоне от 0,40 до 2,00 о.е. (в долях от базисного тока) с точностью до 0,01. Рекомендуется начинать расчёт параметров срабатывания защиты, приняв $I_{Т0}$ равным 1,0 о.е. Если чувствительность защиты при этом получается неудовлетворительной, то необходимо увеличить $I_{Т0}$.

6.2 Начальный ток срабатывания ДЗОш

Начальный ток срабатывания ДЗОш $I_{Д0}$ при отсутствии торможения выбирается по следующим условиям:

– отстройки от максимального тока в защите при разрыве её вторичных цепей в нагрузочном режиме по формуле:

$$I_{до} \geq \frac{K_{отс} \cdot I_{нагр.макс}}{K_{тт_стоп} \cdot I_{баз.дзош.ст}}, \text{ о.е.} \quad (25)$$

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

$I_{нагр.макс}$ – первичный ток нагрузки наиболее нагруженного присоединения, А.

При этом возможные пиковые (кратковременные) значения тока нагрузки не учитываются;

$K_{тт_стоп}$ – коэффициент трансформации ТТ наиболее нагруженного присоединения;

$I_{баз.дзош.ст}$ – базисный ток наиболее нагруженного присоединения, А.

– отстройки от расчётного первичного тока небаланса в режиме соответствующем началу торможения по формуле:

$$I_{до} \geq K_{отс} \cdot I_{нб\ торм.нач.}, \text{ о.е.} \quad (26)$$

где $K_{отс}$ - коэффициент отстройки, учитывающий погрешности, ошибки расчёта и необходимый запас (принимается равным 1,5);

$I_{нб\ торм.нач.}$ – составляющая тока небаланса, обусловленная погрешностью ТТ в режиме соответствующем начальному току торможения (когда полусумма первичных токов присоединений равна току $I_{т0}$), определяемая по выражению:

$$I_{нб.торм.нач.} = (K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta f_{выр}) \cdot I_{т0}, \text{ о.е.} \quad (27)$$

где $K_{пер}$ - коэффициент, учитывающий переходный режим. В зависимости от уставки тока начала торможения принимается:

$K_{пер} = 1,3$ при $I_{т0} = 1,0$ о.е;

$K_{пер} = 1,5 \dots 2,0$ при $I_{т0} = 2,0$ о.е;

$K_{одн}$ – коэффициент однотипности ТТ (принимается равным 1,0);

ε – полная относительная погрешность основных ТТ (принимается равной 0,1);

$\Delta f_{выр}$ – полная относительная погрешность выравнивания (принимается равным 0,02);

Выбирается наибольшее значение из формул (25) и (26).

Уставка $I_{до}$ должна приниматься равной не менее 0,2 о.е.

Если при этом чувствительность защиты не обеспечивается, то значение $I_{до}$ (при $I_{т0} = 1,0$ о.е.) уменьшается.

6.3 Коэффициент торможения ДЗОш

Коэффициент торможение дифференциальной защиты выбирается из условий:

– отстройка от тока небаланса в переходном режиме внешнего КЗ по формуле:

$$K_T \geq \frac{\Delta I_D}{\Delta I_T} = \frac{K_{отс} \cdot I_{нб.расч*} - I_{до}}{I_{торм.расч*} - I_{т0}} \quad (28)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,5;

$I_{НБ.РАСЧ*}$ – относительное значение максимального расчётного тока небаланса при расчётном внешнем КЗ, протекающий через защиту, от которого защита должна быть отстроена выбором коэффициента торможения, о.е;

$I_{ТОРМ.РАСЧ*}$ – относительное значение расчётного тормозного тока в защите при расчётном внешнем КЗ (при проектных расчётах может определяться методом наложения), о.е;

$I_{Д0}$ – принятое значение начального тока срабатывания ДЗОш, о.е;

$I_{Т0}$ – принятое значение тока начала торможения, о.е.

Относительное значение максимального расчётного тока небаланса в режиме внешнего КЗ определяется по выражению:

$$I_{НБ.РАСЧ*} = (K_{ПЕР} \cdot K_{ОДН} \cdot \varepsilon + \Delta f_{ВЫР}) \cdot I_{К.МАКС}, \text{ о.е.} \quad (29)$$

где $K_{ПЕР}$ - коэффициент, учитывающий переходный режим, принимается равным 2,0;

$K_{ОДН}$, ε , $\Delta f_{ВЫР}$ - аналогичны коэффициентам из выражения (26);

$I_{К.МАКС}$ - относительное максимальное значение тока внешнего металлического КЗ, о.е.

Приводится к базисному току по выражению:

$$I_{К.МАКС} = \frac{I_{К.МАКС.П}}{K_{ТТ_СТОП} \cdot I_{БАЗ.ДЗОШ.СТ}}, \text{ о.е.} \quad (30)$$

где $I_{К.МАКС.П}$ – первичное максимальное значение тока внешнего металлического КЗ, А;

$I_{БАЗ.ДЗОШ.СТ}$ - базисный ток наиболее нагруженного присоединения, А;

$K_{ТТ_СТОП}$ – коэффициент трансформации ТТ наиболее нагруженного присоединения;

Относительное значение расчётного тормозного тока определяется по выражению:

$$I_{ТОРМ.РАСЧ*} = (1 - 0,5 \cdot (K_{ПЕР} \cdot K_{ОДН} \cdot \varepsilon + \Delta f_{ВЫР})) \cdot I_{К.МАКС}, \text{ о.е.} \quad (31)$$

– отстройка от тока небаланса в режиме качаний:

$$K_{Т} \geq \frac{K_{ОТС} \cdot I_{НБ.РАСЧ.КАЧ*} - I_{Д0}}{I_{ТОРМ.РАСЧ.КАЧ*} - I_{Т0}} \quad (32)$$

где $K_{ОТС}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,5;

$I_{НБ.РАСЧ.КАЧ*}$ – относительное значение максимального расчётного тока небаланса при качаниях, протекающего через защиту, от которого защита должна быть отстроена выбором коэффициента торможения, о.е;

$I_{ТОРМ.РАСЧ.КАЧ*}$ – относительное значение расчётного тормозного тока в защите при качаниях (при проектных расчётах может определяться методом наложения), о.е.

Относительное значение максимального расчётного тока небаланса в режиме качаний определяется по выражению:

$$I_{НБ.РАСЧ.КАЧ*} = (K_{ПЕР} \cdot K_{ОДН} \cdot \varepsilon + \Delta f_{ВЫР}) \cdot I_{КАЧ}, \text{ о.е.} \quad (33)$$

где $K_{\text{ПЕР}}$ – коэффициент, учитывающий переходный режим, принимается равным 1,0;

$K_{\text{ОДН}}, \varepsilon, \Delta f_{\text{ВЫР}}$ – аналогичны коэффициентам из выражения (27);

$I_{\text{КАЧ}}$ – относительное максимальное значение тока в режиме качаний, о.е.

Приводится к базисному току по выражению:

$$I_{\text{КАЧ}} = \frac{I_{\text{КАЧ.П}}}{K_{\text{ТТ_СТОП}} \cdot I_{\text{БАЗ.ДЗОШ.СТ}}}, \text{ о.е.} \quad (34)$$

где $I_{\text{КАЧ.П}}$ – первичное максимальное значение тока в режиме качаний, А;

$I_{\text{БАЗ.ДЗОШ.СТ}}$ – базисный ток наиболее нагруженного присоединения (А);

$K_{\text{ТТ_СТОП}}$ – коэффициент трансформации ТТ наиболее нагруженного присоединения;

Относительное значение расчётного тормозного тока определяется по выражению:

$$I_{\text{ТОРМ.РАСЧ.КАЧ}^*} = (1 - 0,5 \cdot (K_{\text{ПЕР}} \cdot K_{\text{ОДН}} \cdot \varepsilon + \Delta f_{\text{ВЫР}})) \cdot I_{\text{КАЧ}}, \text{ о.е.} \quad (35)$$

Выбирается наибольшее значение из формул (25) и (26) с округлением в сторону большего (с учётом дискретности задания коэффициента торможения равной 0,1), чем расчётное значение, но не менее 0,2.

6.4 Проверка чувствительности ДЗОш

Проверка чувствительности ДЗОш должна производиться при расчётном виде КЗ на шинах в расчётных по чувствительности режимах работы подстанции и питающей системы:

- в нормальном режиме с учётом тока нагрузки;
- в режиме обеспечения невозврата (для пуска УРОВ) при отключении КЗ на шинах и отказе выключателя.

Коэффициент чувствительности ($K_{\text{ч}}$) в нормальном режиме определяется следующим образом:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I'_{\text{КМИН}}}{I_{\text{ДО}} + K_{\text{Т}} \cdot (I_{\text{ТОРМ.РАСЧ}} - I_{\text{ТО}})} \quad (36)$$

где $I'_{\text{КМИН}} = \frac{I_{\text{КМИН}}}{K_{\text{ТТ_СТОП}} \cdot I_{\text{БАЗ.ДЗОШ.СТ}}}$ – минимальное значение периодической

составляющей полного фазного тока рассматриваемого вида КЗ на шинах, о.е.;

$I_{\text{ДО}}$ – принятое значение начального тока срабатывания ДЗОш, о.е.;

$I_{\text{ТО}}$ – принятое значение тока начала торможения, о.е.;

$K_{\text{Т}}$ – принятое значение коэффициента торможения;

$I_{\text{ТОРМ.РАСЧ}}$ – тормозной ток подводимый к защите при расчётном КЗ, о.е.;

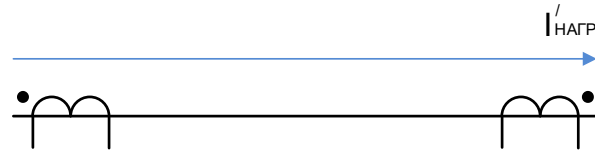
$I_{\text{БАЗ.ДЗОШ.СТ}}$ – базисный ток наиболее нагруженного присоединения, А;

$K_{\text{ТТ_СТОП}}$ – коэффициент трансформации ТТ наиболее нагруженного присоединения;

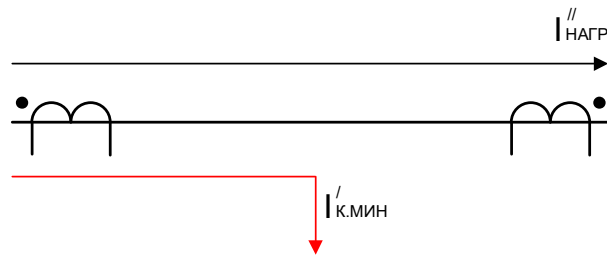
Выражение (35) справедливо при $I_{ТОРМ.РАСЧ} > I_{Т0}$

$$I_{НАГР} = \left| \sum_{j^-}^{N^-} \frac{I_{Q_j^-}}{I_{БАЗ_Q_j^-} \cdot K_{ТТ_Q_j^-}} \right| = \left| \sum_{j^+}^{N^+} \frac{I_{Q_j^+}}{I_{БАЗ_Q_j^+} \cdot K_{ТТ_Q_j^+}} \right| \quad (37)$$

где N^+ (N^-) – количество присоединений, токи которых втекают в защиту (вытекают из защиты);



а) ток нагрузки протекающий через защищаемую ошиновку до короткого замыкания



б) ток нагрузки протекающий через защищаемую ошиновку при коротком замыкании

Рисунок 8 – Ток нагрузки, протекающий через защищаемые шины

$I'_{НАГР}$ – ток нагрузки, протекающий через защиту до короткого замыкания, о.е;

$I''_{НАГР}$ – ток нагрузки, протекающий через защиту при коротком замыкании, о.е.

Значение коэффициента чувствительности $K_{ч}$ должно быть не менее 2.

В случае $K_{ч} < 2$ оценка чувствительности защиты производится традиционным для защит с торможением способом: под коэффициентом чувствительности понимается кратность уменьшения тока $KЗ$, при которой защита находится на грани срабатывания.

На характеристику срабатывания ДЗО наносится точка «В» с координатами:

$$I_{Д} = (I''_{НАГР} + I'_{К.МИН}) - I'_{НАГР} = I'_{К.МИН} \quad (38)$$

$$I_{Т} = I_{ТОРМ.РАСЧ} = 0,5 \cdot ((I''_{НАГР} + I'_{К.МИН}) + I'_{НАГР}) = 0,5 \cdot I'_{К.МИН} + I'_{НАГР} \quad (39)$$

Проводится прямая, соединяющая точку «В» с точкой на оси абсцисс, координата которой равна току $I'_{НАГР}$. Точка «А» пересечения прямой с характеристикой срабатывания ДЗОш является точкой, где защита находится на границе срабатывания.

В случае, когда рассматриваемая прямая пересекает характеристику срабатывания в горизонтальной части (как показано на рисунке 9) коэффициент чувствительности определяется по следующему выражению:

$$K_{ч} = \frac{I'_{К.МИН}}{I_{Д0}} \quad (40)$$

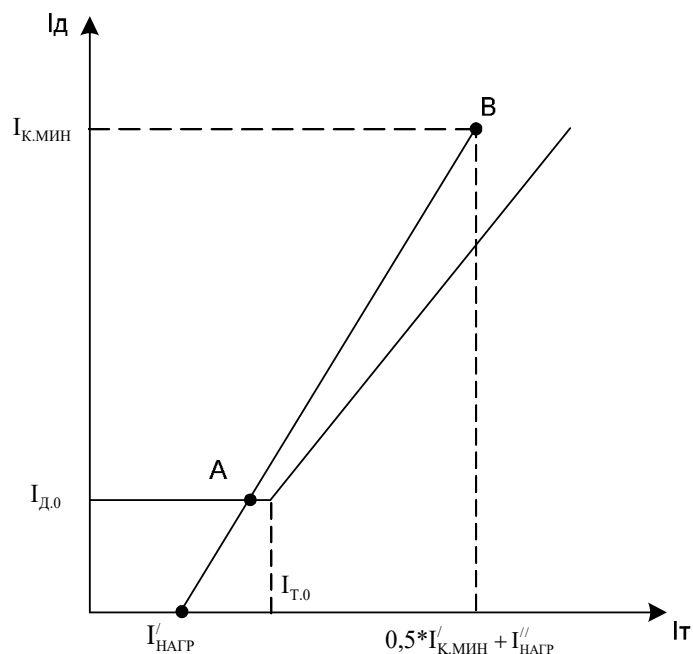


Рисунок 9 – Определение чувствительности ДЗО в первом случае

В случае, когда рассматриваемая прямая пересекает характеристику срабатывания в наклонной части (как показано на рисунке 10) коэффициент чувствительности определяется по выражению:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I'_{\text{К.МИН}} \cdot (1 - 0,5 \cdot K_T) + K_T \cdot (I'_{\text{НАГР}} - I''_{\text{НАГР}})}{I_{\text{Д.0}} + K_T \cdot (I'_{\text{НАГР}} - I_{\text{Т.0}})} \quad (41)$$

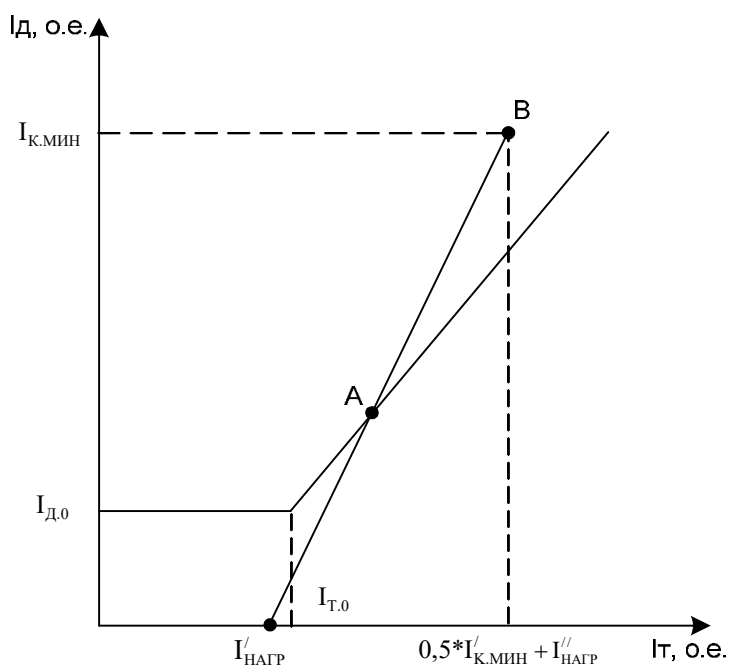


Рисунок 10 – Определение чувствительности ДЗО во втором случае

Если полученное значение $K_ч < 2$, то необходимо увеличить значение уставки $I_{Т0}$ и повторить расчёт чувствительности.

Для упрощения расчёта коэффициента чувствительности можно принять $I'_{НАГР} = 1$ о.е. и $I''_{НАГР} = 0$ о.е.

Учёт тока нагрузки во время внешнего КЗ влияет на увеличение запаса по небалансу между расчётным небалансом при КЗ и тормозной характеристикой. Таким образом, наиболее тяжёлым режимом является близкое металлическое КЗ при котором ток нагрузки через шины можно принять равным нулю

6.5 Задержка срабатывания ДЗОш

При неправильно выбранных трансформаторах тока, возможно их насыщение и излишнее срабатывание ДЗОш. Необходимость введения задержки и её величина определяются в каждом конкретном случае индивидуально.

По умолчанию, задержка на срабатывание равна нулю.

6.6 Ток срабатывания ПО контроля обрыва цепей тока

Ток срабатывания ПО контроля обрыва (неисправности) цепей переменного тока выбирается в два раза более чувствительным чем начальный ток срабатывания чувствительного органа ДЗОш $I_{до}$

$$I_{\text{ПОКОЦТ}} = \frac{I_{\text{до}}}{2}, \text{ о.е.} \quad (42)$$

6.7 Задержка срабатывания контроля обрыва цепей тока

Рекомендуемое значение уставки DT2_ДЗОш «Время срабатывания контроля обрыва цепей тока ДЗОш» - 10 с.

6.8 Назначение программных накладок

XВ1_ДЗОш Действие ДЗОш | не предусмотрено / предусмотрено. При помощи программной накладки осуществляется ввод ДЗОш в работу.

XВ2_ДЗОш Действие блокировки ДЗОш при обрыве цепей тока | предусмотрено / не предусмотрено. Ввод блокировки действия ДЗОш при срабатывании пускового органа контроля токовых цепей.

XВ3_ДЗОш Подхват блокировки ДЗОш при обрыве цепей тока | не предусмотрен / предусмотрен. Предусматривается для блокирования действия ДЗОш до момента возврата (сброса) блокировки оперативным персоналом.

7 Выбор уставок максимальной токовой защиты (МТЗ ВН)

7.1 Ток срабатывания I ступени МТЗ ВН

Первая ступень МТЗ ВН выполняется в качестве токовой отсечки. Ток срабатывания выбирается исходя из условий отстройки от тока включения БСК.

$$I_{\text{IСТ.МТЗ}} = \sqrt{3} \cdot K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{ВКЛ.БСК}}, \text{ А} \quad (43)$$

где $\sqrt{3}$ – коэффициент учитывающий работу ПО МТЗ ВН на междуфазных величинах;

$K_{\text{ОТС}} = 1,5$ – коэффициент отстройки;

$I_{\text{ВКЛ.БСК}}$ – ток включения БСК, рассчитанный в соответствии с формулой (14), А.

Проверка чувствительности I ступени МТЗ ВН определяется при металлических КЗ по выражению:

$$K_{\text{Ч}} = \frac{I_{\text{КЗ.МИН}}}{I_{\text{IСТ.МТЗ}}} \geq 1,2 \quad (44)$$

где $I_{\text{КЗ.МИН}}$ – минимальный (по режиму) ток двухфазного КЗ на выводах БСК, А.

Задержка на срабатывание I ступени выполненной в качестве токовой отсечки равна нулю.

7.2 Ток срабатывания II ступени МТЗ ВН

Ток срабатывания II ступени МТЗ ВН выбирается по условию отстройки от возможных перегрузок БСК по току при симметричном повышении напряжения в сети.

$$I_{\text{IIСТ.МТЗ}} = \sqrt{3} \cdot K_{\text{ОТС}} \cdot K_{\text{У}} \cdot I_{\text{НОМ.БСК}}, \text{ А} \quad (45)$$

где $\sqrt{3}$ – коэффициент учитывающий работу ПО МТЗ ВН на междуфазных величинах;

$K_{\text{ОТС}} = 1,3$ – коэффициент отстройки;

$K_{\text{У}} = 1,35$ – коэффициент запаса, учитывающий перенапряжения в сети ВН, допустимые для БСК в течение ограниченного периода времени (согласно ПТЭ, п.5.11.17);

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

Проверка чувствительности II ступени МТЗ ВН определяется при металлических КЗ по выражению:

$$K_{\text{Ч}} = \frac{I_{\text{КЗ.МИН}}}{I_{\text{IIСТ.МТЗ}}} \geq 2 \quad (46)$$

где $I_{\text{КЗ.МИН}}$ – минимальный (по режиму) ток двухфазного КЗ на ошиновке ВН БСК, А.

7.3 Выбор выдержки времени II ступени МТЗ ВН

Уставка выдержки времени II ступени МТЗ ВН выбирается из диапазона 1,0 – 1,5 с.

8 Выбор уставки защиты от перегрузки (ЗПВГ)

8.1 Ток срабатывания ПО ЗПВГ

Согласно ПУЭ (5.6.18) защита от перегрузки токами высших гармоник должна срабатывать при действующем значении тока для единичных конденсаторов превышающем 130%.

$$I_{\text{ПЕРЕГР}} = K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{НОМ.БСК}}, \text{ А} \quad (47)$$

где $K_{\text{ОТС}} = 1,3$ – коэффициент отстройки;

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

При отсутствии специальных требований, вторую ступень ЗПВГ можно не применять.

8.2 Выбор выдержки времени

Уставка выдержки времени ЗПВГ выбирается из диапазона 1,5 – 2,0 с.

8.3 Назначение программных накладок

XB1_ЗПВГ Пуск УРОВ при срабатывании отключающей ступени ЗПВГ | не предусмотрен / предусмотрен. При помощи программной накладки выводится пуск УРОВ при срабатывании отключающей ступени ЗПВГ.

9 Выбор уставки защиты от повышения напряжения (ЗПН)

9.1 Согласно ПУЭ (5.6.17) БСК должна иметь защиту от повышения напряжения, отключающую батарею при повышении действующего значения напряжения сверх допустимого. Отключение установки производится с выдержкой времени 3-5 мин. Защита не требуется, если батарея выбрана с учётом максимально возможного значения напряжения цепи, т. е. так, что при повышении напряжения к единичному конденсатору не может быть длительно приложено напряжение более 110% номинального.

Защита от повышения напряжения имеет две ступени. Первая ступень действует на сигнал, вторая ступень - на отключение.

$$U_{\text{ЗПН}} \geq 1,1 \cdot U_{\text{НОМ}}, \text{В} \quad (48)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение БСК, В

Задержка на срабатывание сигнальной ступени ЗПН может быть принята равной 180 с, а отключающей ступени - 300 с.

9.2 Назначение программных накладок

XB1_ЗПН Пуск УРОВ при срабатывании отключающей ступени ЗПН | не предусмотрен / предусмотрен. При помощи программной накладки выводится пуск УРОВ при срабатывании отключающей ступени ЗПН.

10 Выбор уставки защиты минимального напряжения (ЗМН)

10.1 Защита минимального напряжения действует на отключение батареи при снижении напряжения на шинах ниже заданного. Если при исчезновении напряжения на шинах батарея не была отключена, то при последующим восстановлении напряжения к батарее может быть приложено удвоенное напряжение, что недопустимо.

Уставка срабатывания ПО блокирующего напряжения может быть принята равной 10 В.

$$U_{\text{БЛОК.НАПР.}} = 10 \text{ В} \quad (49)$$

Выдержка времени на отключение БСК определяется по выражению:

$$t_{\text{ЗМН}} = t_{\text{СР.СМ.ПР}} + t_{\text{ЗАП}} \quad (50)$$

где $t_{\text{СР.СМ.ПР}}$ – максимальная выдержка времени резервных защит смежных присоединений в сети ВН, в зоне действия которых не обеспечивается отстройка (не действие) указанной ступени ЗМН БСК;

$t_{\text{ЗАП}}$ – время запаса, выбираемое из диапазона 0,3 – 0,4 с.

10.2 Назначение программных накладок

XB1_ЗМН Пуск УРОВ при срабатывании отключающей ступени ЗМН | не предусмотрен / предусмотрен. При помощи программной накладки выводится пуск УРОВ при срабатывании ЗМН.

11 Выбор уставки защиты от внутренних повреждений (ЗВП)

Защита от внутренних повреждений (небалансная защита) предназначена для резервирования быстродействующих защит при внутренних повреждениях батареи статических конденсаторов. Защита выполняется для каждой фазы в отдельности и имеет две ступени, действующие на сигнал или на отключение БСК.

Защита реагирует на появление тока небаланса трансформаторов тока, установленных в цепи проводника, соединяющем средние точки полуветвей в каждой из фаз A/B/C.

В нормальном режиме и режиме внешних КЗ токи в параллельных ветвях отдельной фазы БСК практически одинаковы, а при повреждениях конденсаторов в одной из ветвей это равенство нарушается, появляется ток небаланса, вызывающий срабатывание защиты в повреждённой фазе.

11.1 Расчёт тока небаланса

Пример расчёта токов небаланса приведён на примере БСК, фаза которой состоит из четырёх отдельных блоков, соединённых попарно параллельно, а обе пары – последовательно (рисунок 11).

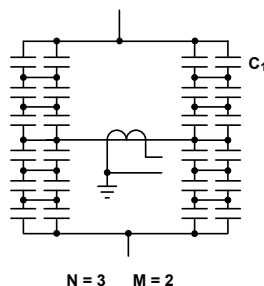


Рисунок 11 – Фаза БСК

Единичный конденсатор состоит из n последовательно соединённых рядов, в каждом из которых находится m параллельно соединённых элементов (рисунок 12).

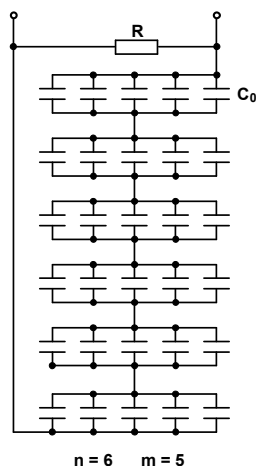


Рисунок 12 – Схема единичного конденсатора

В проводнике, соединяющем средние точки двух образованных полуветвей фазы, подключен ТТ, измеряющий токи небаланса (несимметрии), которые возникают при повреждении отдельных конденсаторных элементов в любом из единичных конденсаторов БСК, находящихся под рабочим напряжением.

Общая емкость одного из четырёх блоков БСК будет определяться согласно выражению:

$$C_B = \frac{M \cdot C_1}{N}, \text{ мкФ} \quad (51)$$

где N – количество последовательных рядов конденсаторов блока БСК;

M – количество конденсаторов в одном ряду блока БСК;

C_1 – емкость единичного конденсатора, мкФ.

Емкость единичного конденсатора будет определяться согласно выражению:

$$C_1 = \frac{m \cdot C_0}{n}, \text{ мкФ} \quad (52)$$

где n – количество последовательных рядов конденсаторных элементов единичного конденсатора;

m – количество конденсаторных элементов в одном ряду единичного конденсатора;

C_0 – емкость конденсаторного элемента, мкФ.

Учитывая число параллельно/последовательно соединённых блоков фазы БСК (по два блока), можно представить суммарную емкость фазы БСК выражением:

$$C_\Phi = \frac{2 \cdot M \cdot C_0}{2 \cdot N} = C_B = \frac{M \cdot m \cdot C_0}{N \cdot n}, \text{ мкФ} \quad (53)$$

Все элементы защищены плавкой вставкой (предохранителем), при пробое (КЗ) секции предохранитель плавится изолируя повреждённый элемент, меняя (уменьшая) количество параллельных элементов в группе.

Посредством параллельно/последовательного сложения сопротивлений повреждённого и неповреждённых единичных конденсаторов, отдельных блоков конденсаторов, а также расчета изменившегося токораспределения между блоками в схеме замещения фазы БСК, для определения величины тока небаланса, протекающего в проводнике, соединяющем средние точки двух полуветвей фазы, может быть получено следующее конечное выражение:

$$I_{\text{НБ.РАСЧ}} = \frac{U_\Phi \cdot \omega \cdot C_1 \cdot M}{N \cdot [4 \cdot (N \cdot \{M \cdot (n-1) + 1\}) - 3]} = \frac{I_{\text{НОМ}}}{4 \cdot (N \cdot \{M \cdot (n-1) + 1\}) - 3}, \text{ А} \quad (54)$$

где U_Φ – первичное рабочее (номинальное) напряжение фазы БСК, В;

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 314$ – угловая скорость вращения векторов электрических величин (токов и напряжений);

C_1 – ёмкость единичного конденсатора, Ф;

M – количество конденсаторов в одном ряду блока БСК;

N – количество последовательных рядов конденсаторов блока БСК;

n – количество последовательных рядов конденсаторных элементов единичного конденсатора;

$$I_{\text{НОМ.Б}} = \frac{U_{\phi} \cdot \omega \cdot C_1 \cdot M}{N} \text{ – номинальный первичный ток конденсаторной батареи, А.}$$

При последовательном соединении двух (или более) единичных конденсаторов в одном ряду блока конденсаторной батареи), число n (количество последовательных рядов конденсаторных элементов) необходимо увеличить в два (или более) раза, а число N (количество последовательных рядов конденсаторов блока БСК) – соответственно уменьшить в два (или более) раза.

11.2 Ток срабатывания отключающей ступени

Ток срабатывания отключающей ступени, действующей на отключение БСК, рассчитывается по чувствительности при повреждении (полном пробое) элемента единичного конденсатора БСК:

$$I_{\text{СР.ОТКЛСТ}} \leq \frac{I_{\text{НБ.РАСЧ}}}{K_{\text{ч}}}, \text{ А} \quad (55)$$

где $K_{\text{ч}} = (1,25 - 1,5)$ – коэффициент чувствительности, о.е.;

$I_{\text{НБ.РАСЧ}}$ – расчётный ток небаланса, протекающий в цепи проводника, соединяющем средние точки полуветвей фазы БСК (определяется при изоляции отдельного конденсаторного элемента БСК, по выражению (53)), А.

Расчётная величина $I_{\text{НБ.РАСЧ}}$ определяется предварительно, обязательным условием является отстройка уставки отключающей ступени от токов небаланса нормального режима по результатам измерений при наладочных работах, или в процессе эксплуатации защиты.

11.3 Выбор выдержки времени отключающей ступени

Выдержка времени на отключение и пуск УРОВ БСК должна определяться с учётом отстройки от переходного режима включения БСК, предварительное значение может быть принято (с последующим уточнением по результатам измерений при наладочных работах):

$$t_{\text{СР.ОТК.СТ}} = 1,0 - 1,5 \text{ с} \quad (56)$$

11.4 Ток срабатывания сигнальной ступени

Ток срабатывания сигнальной ступени рассчитывается с учётом обеспечения её упреждающего срабатывания при частичном нарушении свойств (изоляции) элемента единичного конденсатора БСК согласно выражению:

$$I_{\text{СР.СИГН.СТ}} = 0,6 \cdot I_{\text{СР.ОТКЛ.СТ}}, \text{ А} \quad (57)$$

Обязательным условием является отстройка уставки по току сигнальной ступени от токов небаланса нормального режима по результатам измерений при наладочных работах, или в процессе эксплуатации защиты.

11.5 Выбор выдержки времени сигнальной ступени

Выдержка времени сигнальной ступени может быть принята равной 10 с.

12 Выбор уставки токовой ненаправленной защиты нулевой последовательности на стороне высоковольтных вводов БСК (ТЗНП ВН)

Защита предназначена для резервирования действия быстродействующих защит при КЗ на землю в БСК.

Защита реагирует на расчётный ток нулевой последовательности стороны ВВ БСК.

12.1 Расчёт I ступени ТЗНП ВН

Ток срабатывания ТЗНП ВН выбирается по условию отстройки от максимального тока в нулевом проводе ТТ при включении БСК под напряжение

$$I_{\text{ср.ист.ВН}} \geq K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{пер}} \cdot K_{\text{у}} \cdot I_{\text{ном.БСК}} = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,35 \cdot I_{\text{ном.БСК}} = 2 \cdot I_{\text{ном.БСК}}, \text{ А} \quad (58)$$

где $K_{\text{отс}} = 1,5$ – коэффициент отстройки;

$K_{\text{пер}} = 1$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока небаланса в переходном режиме;

$K_{\text{у}} = 1,35$ – коэффициент запаса, учитывающий перенапряжения в сети ВН, допустимые для БСК в течение ограниченного периода времени (согласно ПТЭ, п.5.11.17);

$I_{\text{ном.БСК}}$ – номинальный ток БСК, А.

Выдержка времени на отключение и пуск УРОВ БСК:

$$t_{\text{ср.ТЗНП.1 ст}} = 0,3 - 0,4 \text{ с}$$

12.2 Расчёт II ступени ТЗНП ВН

Вторая ступень ТЗНП ВН с идентичной уставкой по току срабатывания и с большей (на ступень селективности) выдержкой времени действия для отключения смежных присоединений БСК.

12.3 Проверка чувствительности ТЗНП ВН БСК.

Коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}}$ ТЗНП на стороне высоковольтных вводов БСК определяется при металлических КЗ на землю по выражению:

$$K_{\text{ч}} = \frac{3I_{0,3}}{I_{\text{сз}}} \geq 1,5, \quad (59)$$

где $3I_{0,3}$ – минимальный (по режиму) утроенный ток нулевой последовательности, протекающий через защиту от питающей системы при КЗ на землю одной фазы на вводе ВН БСК, А;

$I_{\text{сз}}$ – ток срабатывания защиты, А.

13 Выбор уставки токовой ненаправленной защиты нулевой последовательности на стороне нейтральных выводов БСК (ТЗНП нейтрали)

Защита предназначена для резервирования действия быстродействующих защит при КЗ на землю в БСК.

Функция защиты использует прямое измерение тока в нулевом проводе ТТ на стороне нейтрали БСК, что обеспечивает повышение чувствительности защиты к однофазным КЗ вблизи нейтрали.

13.1 Расчёт тока срабатывания

Ток срабатывания ТЗНП нейтрали выбирается по условию обеспечения максимальной чувствительности к КЗ на землю на стороне нейтрали БСК, в конце зоны защиты:

$$I_{\text{ср.ТЗНП.НВ}} \leq \frac{I_{\text{НОМ.БСК}}}{K_{\text{ч}}} = 0,65 \cdot I_{\text{НОМ.БСК}}, \text{ А} \quad (60)$$

где $I_{\text{НОМ.БСК}}$ – номинальный ток БСК, А;

$K_{\text{ч}} = 1,5$ – коэффициент чувствительности.

Время срабатывания защиты должно быть согласовано с временем действия резервных защит смежных присоединений в сети ВН.

13.2 Расчёт выдержки времени

Выдержка времени на отключение и пуск УРОВ БСК:

$$t_{\text{ТЗНП.НВ}} = t_{\text{с.з.пр}} + t_{\text{зап}}, \text{ с} \quad (61)$$

где $t_{\text{с.з.пр}}$ – максимальная выдержка времени тех ступеней ТЗНП смежных присоединений в сети ВН БСК, в зоне действия которых не обеспечивается отстройка (не действие) указанной функции ТЗНП БСК, с;

$t_{\text{зап}} = 0,3 \div 0,4$ с – время запаса (ступень селективности).

Дополнительная (вторая) ступень ТЗНП на стороне нейтрали БСК может использоваться, с идентичной уставкой по току срабатывания и с большей (на ступень селективности) выдержкой времени действия для отключения смежных присоединений БСК (шины).

Важным условием является проверка согласования ТЗНП НЕЙТРАЛИ по току срабатывания со вторыми ступенями защит от КЗ на землю указанных присоединений ($K_{\text{согл}} = 1,1$), так как выполнение этого условия обеспечивает применение минимально возможных выдержек времени срабатывания рассматриваемой защиты.

14 Выбор уставки максимальной токовой защиты обратной последовательности на стороне высоковольтных вводов БСК (ТЗОП ВН)

Защита предназначена для резервирования действия быстродействующих защит при несимметричных КЗ в БСК.

Функция защиты использует измерения фазных трансформаторов тока на стороне высоковольтных вводов БСК.

14.1 Расчёт тока срабатывания ПО ТЗОП

Ток срабатывания ПО ТЗОП ВН выбирается по условию отстройки от тока небаланса в БСК при нарушении симметрии напряжений в сети ВН:

$$I_{\text{CP.ТЗОП}} \geq (0,1 \div 0,2) \cdot K_U \cdot I_{\text{НОМ.БСК}} = (0,135 \div 0,27) \cdot I_{\text{НОМ.БСК}}, \text{ А} \quad (62)$$

где $I_{\text{НОМ.БСК}}$ – номинальный ток БСК, А;

$K_U = 1,35$ – коэффициент запаса, учитывающий перенапряжения в сети ВН, допустимые для БСК в течение ограниченного периода времени (согласно ПТЭ, п.5.11.17).

14.2 Расчёт выдержки времени

Выдержка времени на отключение и пуск УРОВ БСК:

$$t_{\text{ТЗОП}} = t_{\text{CP.ТЗНП.ВН}} + t_{\text{ЗАП}}, \text{ с} \quad (63)$$

где $t_{\text{CP.ТЗНП.ВН}}$ – максимальная выдержка времени резервных защит смежных присоединений в сети ВН, с;

$t_{\text{ЗАП}} = 0,3 \div 0,4$ с – время запаса (ступень селективности).

14.3 Проверка чувствительности ТЗОП БСК.

Коэффициент чувствительности ($K_{\text{ч}}$) ТЗОП на стороне высоковольтных вводов БСК определяется при металлических КЗ по выражению:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ.МИН}}}{I_{\text{CP.ТЗОП}}} \geq 1,5, \quad (64)$$

где $I_{2 \text{ КЗ.МИН}}$ – минимальный (по режиму) ток обратной последовательности при КЗ в двух фазах на ошиновке ВН, А;

$I_{\text{CP.ТЗОП}}$ – ток срабатывания защиты, А.

15 Выбор уставок УРОВ

Функция УРОВ шкафа реализует принцип индивидуального устройства, причём схема УРОВ выполнена универсальной и возможна реализация УРОВ как по схеме с дублированным пуском от защит с контролем РПВ, так и по схеме с автоматической проверкой исправности выключателя.

В части формирования отключающих импульсов УРОВ обеспечивает действие на доотключение резервируемого выключателя с выдержкой времени DT2_УРОВ, а затем с выдержкой времени DT1_УРОВ - действие на отключение смежных выключателей.

Выбор уставок УРОВ сводится к выбору выдержки времени устройства на отключение смежных выключателей и к выбору уставки по току срабатывания ПО тока УРОВ.

15.1 Расчёт тока срабатывания ПО УРОВ

ПО тока УРОВ предназначен для возврата схемы УРОВ при отсутствии отказа выключателя и для определения отказавшего выключателя или КЗ в зоне между выключателем и трансформатором тока с целью выбора направления действия устройства. Ток ПО тока УРОВ должен выбираться по возможности минимальным. Рекомендованное значение тока срабатывания - от 0,05 до $0,1 \cdot I_{НОМ}$, А.

15.2 Расчёт выдержек времени

В соответствии с индивидуальным принципом исполнения, УРОВ шкафа имеет выдержку времени, необходимую для фиксации отказа выключателя. Кроме того, необходимо иметь в виду, что шкаф выполнен на современной микропроцессорной базе и обеспечивает высокую точность отсчёта времени. В связи с вышеизложенным выдержка времени DT1_УРОВ может быть принята равной (0,2 - 0,3) с.

Выдержка времени DT2_УРОВ может быть принята равной 0,02 с.

15.3 Назначение программных накладок УРОВ

XB1_УРОВ Подтверждение пуска УРОВ от сигнала РПВ | не предусмотрено / предусмотрено. Режим «дублированный пуск», предполагающий одновременно с приёмом сигнала пуска УРОВ контроль возврата дискретного входа РПВ, который шунтируется выходным реле защиты, действующим на отключение выключателя. Рекомендуется тщательный анализ возможности использования дублированного пуска при включении новых защит, замене выключателя на ОВ и других действиях, связанных с коммутациями в цепи контакта РПО.

XB2_УРОВ Действие УРОВ «на себя» | не предусмотрено / предусмотрено. Режим «автоматическая проверка исправности выключателя» (УРОВ «на себя»), выполняющий

Редакция от 25.09.2023

действие без выдержки времени на отключение резервируемого выключателя по цепям отключения от УРОВ для случаев, когда прямое действие на отключение выключателя от защит не происходит из-за обрывов в этих цепях.

XB4_УРОВ Подхват пуска УРОВ от ПО тока УРОВ | не предусмотрен / предусмотрен. Предусматривается при кратковременном срабатывании защит, когда пуск УРОВ снимается раньше набора выдержки времени УРОВ.

XB6_УРОВ Пуск УРОВ при действии ЗНФР | не предусмотрен / предусмотрен. При действии ЗНФР происходит срабатывание выходных цепей УРОВ.

16 Выбор уставок АУВ

16.1 Выбор уставки АПВ

АПВ конденсаторной батареи осуществляется после её отключения от ЗПН. Согласно ПУЭ, после срабатывания защиты от превышения напряжения, повторное включение батареи допускается после снижения напряжения в сети до номинального, а также разряда БСК, но не ранее чем через 5 минут, соответственно:

$$t_{\text{АПВ}} \geq 300 \text{ с} \quad (65)$$

16.2 Выбор напряжения срабатывания ПО максимального напряжения шин

Рекомендованное значение напряжения срабатывания ПО максимального напряжения шин:

$$U_{\text{МАХ}} = (0,7 - 0,8) U_{\text{НОМ}}, \text{ В} \quad (66)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение на шинах, В

16.3 Выбор времени готовности АПВ

Выдержка времени готовности АПВ к повторному действию ($t_{\text{ГОТ}}$). Отсчёт $t_{\text{ГОТ}}$ начинается при отсутствии сигнала пуска АПВ и нахождении выключателя во включенном состоянии.

Поскольку АПВ разрешается только при отключении БСК от ЗПН и запрещается при действии остальных защит, а выдержка времени АПВ превышает задержки на срабатывание защит, принимаем

$$t_{\text{ГОТ}} = 15 \text{ с} \quad (67)$$

16.4 Выбор времени задержки включения выключателя

После отключения БСК от защит или от ключа управления, запрещается повторное включение батареи в сеть, до её разряда до безопасного уровня. Время разряда батареи приведено в паспорте БСК. Время задержки включения должно быть больше этого времени.

16.5 Выбор времени включения от АПВ

Выдержка времени включения от АПВ $t_{\text{ВКЛАПВ}}$ выбирается исходя из необходимости обеспечения минимальной длительности замкнутого состояния реле включения от АПВ при отсутствии подхвата от ДТ ЭМВ согласно паспортным данным на выключатель:

$$t_{\text{ВКЛАПВ}} = t_{\text{ВВ}}, \text{ с} \quad (68)$$

где $t_{\text{ВВ}}$ – время включения выключателя по паспортным данным.

16.6 Выбор времени сброса готовности АПВ при отключенном выключателе

Сброс готовности АПВ при длительно отключенном выключателе применяется для запрета АПВ при не включении выключателя в течение заданного времени. Вводится в работу при помощи программной накладки Х□7_АУВ.

Уставка времени сброса $t_{СБР}$ должна быть отстроена от выдержки времени АПВ.

$$t_{СБР} \geq t_{АПВ} + t_{ВВ} + t_{ЗАП}, \text{ с} \quad (69)$$

где $t_{АПВ}$ – время цикла АПВ, с;

$t_{ВВ}$ – время включения выключателя, с;

$t_{ЗАП} = 0,5 \text{ с}$ – время запаса.

16.7 Выбор времени задержки на срабатывание защиты ЭМУ

Электромагниты (соленоиды) привода выключателя рассчитаны на кратковременную работу. Операция включения / отключения производится за короткое время. Например, для элегазового выключателя с пружинным приводом собственное время включения составляет около 0,06 с, а отключения — около 0,03 с. Для воздушных выключателей время включения составляет около 0,25 с, а отключения — около 0,07 с.

При нормальных условиях цепи управления обесточиваются соответствующим блок-контактом.

Однако, если по какой-то причине блок-контакт не разорвал цепь управления, ток через электромагнит продолжит протекать и приведёт к его повреждению. Причины могут быть разные, например, заклинивание механической части привода или проворот блок-контакта на валу привода.

Контакты реле терминала не способны разорвать постоянный ток величиной более 1 А и поэтому производят подхват (удержание) команд управления от датчиков тока, вследствие чего ток управления при отказе переключения блок-контактов будет протекать через электромагнит управления длительное время, что приведёт к повреждению электромагнита.

Для исключения повреждения электромагнитов управления выполняют воздействие на независимый расцепитель автоматического выключателя питания цепей управления.

Сигнал отключения автомата питания цепей управления «Защита ЭМУ» формируется при длительном протекании тока управления. В общем случае, задержку на срабатывание защиты ЭМУ можно выбрать исходя из времени включения выключателя

$$t_{ЗАЩ.ЭМУ} = t_{ВВ} + t_{ЗАП}, \text{ с} \quad (70)$$

где $t_{ВВ}$ - время включения выключателя, с;

$t_{ЗАП} = 0,5 \text{ с}$ - время запаса, с.

Рекомендуемое время задержки на срабатывание защиты ЭМУ - 1 с.

16.8 Уставки ЗНФ и ЗНФР

Функции ЗНФ и ЗНФР используются для выключателей с пофазным приводом.

ПО тока ЗНФР реагирует на ток нулевой последовательности 3I0.

Согласно ПТЭ, если токи в фазах различаются более чем на 10%, работа конденсаторной установки не допускается.

$$I_{\text{CP.ЗНФР}} = 0,1 \cdot I_{\text{НОМ.БСК}}, \text{ А} \quad (71)$$

где $I_{\text{НОМ.БСК}}$ – номинальный ток БСК, А;

Времена ЗНФ и ЗНФР зависят от типа выключателя. Время ЗНФ отстраивается от разновременности включения фаз выключателя (данные о времени разновременности включения берутся либо из паспорта на выключатель, либо практически из опыта) с учётом времени запаса.

Выдержка времени ЗНФ составляет обычно 0,2–0,3 с.

Выдержка времени ЗНФР выбирается на 0,3 с большей, чем выдержка времени ЗНФ.

Из практического опыта время ЗНФР составляет:

для воздушного и элегазового выключателей 0,25-0,35 с;

для масляного выключателя – 0,4 - 0,5 с.

16.9 Выбор времени импульса управления выключателем

Выдержка времени импульса управления выключателем ($t_{\text{ИМП.УПР}}$) выбирается исходя из необходимости обеспечения минимальной длительности замкнутого состояния реле включения при отсутствии подхвата от ДТ ЭМВ согласно паспортным данным на выключатель:

$$t_{\text{ИМП.УПР}} = t_{\text{ВВ}}, \text{ с} \quad (72)$$

где $t_{\text{ВВ}}$ – время включения выключателя, с.

16.10 Назначение программных накладок АУВ

XB1_АУВ Привод выключателя | трёхфазный / пофазный. При выборе пофазного привода вводится логика работы ЗНФ и ЗНФР.

XB2_АУВ Второй электромагнит отключения | не предусмотрен / предусмотрен. Позволяет выбрать наличие или отсутствие в приводе выключателя второго электромагнита отключения. При отсутствии в приводе выключателя второго электромагнита отключения исключается действие сигнализации неисправности цепей управления.

XB3_АУВ Обесточивание ЭМ при приеме «Блокировка вкл. и откл.» | не предусмотрено / предусмотрено. Позволяет выбрать режим обесточивания электромагнитов включения и отключения через выдержку времени 1 сек.

XB4_АУВ Отключение выключателя от «Авар. давл. элегаза в ТТ» | предусмотрен / не предусмотрен. Программная накладка используется для отключения выключателя при приеме сигналов «Аварийное давление элегаза в ТТ» от трансформаторов тока расположенных на сторонах ВН, НВ или в средних точках фаз (ТТ защиты от внутренних повреждений) БСК.

XB5_АУВ Запрет АПВ при переводе выкл. в положение «Местное» | не предусмотрен / предусмотрен. При переводе управления выключателя в положение «Местное», отключении выключателя с привода выключателя и вводе в дальнейшем в положение «Дистанционное» возможен пуск и включение от АПВ, т.к. оперативная команда отключения не прошла в терминал и запрета АПВ не было.

XB6_АУВ Сброс готовности АПВ при откл.В | не предусмотрен / предусмотрен. Программная накладка используется для запрета АПВ при длительно отключенном выключателе (отсутствии условий работы АПВ).

XB12_АУВ Автоматика БСК | АСН / АПВ. Программной накладкой выбирается режим автоматика БСК. АПВ – автоматическое повторное включение БСК после отключения от отключающей ступени ЗПН при наличии нормального напряжения на шинах. АСН – автоматическое включение БСК при снижении напряжения на шинах ниже заданной уставки.

XB13_АУВ Сброс РФП при срабатывании отключающей ступени ЗПН | не предусмотрен / предусмотрен. Сброс РФП от отключающей ступени ЗПН предусматривается при работе автоматика БСК в режиме АСН, для возврата узла фиксации положения выключателя при отключении БСК от отключающей ступени ЗПН.

XB14_АУВ Контроль положения разъединителей | предусмотрен / не предусмотрен. При помощи программной накладки логику формирования сигнала ФОВ вводятся положения разъединителей.

16.11 Расчёт уставок АСН

Автоматика снижения напряжения применяется для увеличения напряжения на шинах путём включения БСК в случае снижения напряжения на шинах ниже уставки ПО минимального напряжения.

Выбор уставки срабатывания ПО минимального напряжения шин должен производиться по согласованию с РДУ.

Выбор уставки срабатывания ПО блокирующего напряжения шин должен производиться по таким образом, чтобы исключить включение батареи на обесточенные шины.

$$U_{\text{блок.шин}} = (0,3 - 0,4) \cdot U_{\text{ном}} \quad (73)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение на шинах, В

16.12 Выбор задержки на срабатывание АСН

АСН осуществляет включение конденсаторной батареи при снижении напряжения на шинах ниже уставки минимального напряжения шин. Задержка на включение БСК при снижении напряжения на шинах должна задаваться РДУ.

16.13 Выбор времени включения от АСН

Выдержка времени включения от АСН $t_{\text{вкл.АСН}}$ выбирается исходя из необходимости обеспечения минимальной длительности замкнутого состояния реле включения от АСН при отсутствии подхвата от ДТ ЭМВ согласно паспортным данным на выключатель:

$$t_{\text{вкл.АСН}} = t_{\text{вв}}, \text{ с} \quad (74)$$

17 Пример расчета РЗА БСК 110 кВ

17.1 Технические параметры конденсаторной батареи

Таблица 1

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	110
Номинальная мощность, МВАр	25
Номинальная емкость, мкФ	6,63
Номинальный ток, А	132,3
Допустимое рабочее напряжение, кВ	126
Допустимое воздействие тока, А	$1,3 \cdot I_{ном}$
Тип применяемых конденсаторов	КЭПФ-12-450 2УХЛ1
Последовательно групп конденсаторов (в фазе)	6
Параллельно конденсаторов в группе (в фазе)	4

17.2 Технические параметры конденсаторов

Таблица 2

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	12
Номинальная емкость, мкФ	9,95
Номинальная мощность, кВАр	450
Номинальный ток, А	37,5
Разрядные резисторы	Встроенные
Время разряда до 75 В, с	600
Секционные предохранители	Встроенные

17.3 Технические параметры трансформаторов тока

Таблица 3 – ТТ средней перемычки (небалансной защиты)

Параметр	Значение
Тип	ТГФМ-110
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126
Номинальный первичный ток, А	15
Номинальный вторичный ток, А	5

Таблица 4 – ТТ стороны ВН

Параметр	Значение
Тип	ТОГФ-110
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126
Номинальный первичный ток, А	300
Номинальный вторичный ток, А	1

Таблица 5 – ТТ стороны НВ

Параметр	Значение
Тип	ТОЛ – 35 III-IV
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	40,5
Номинальный первичный ток, А	200
Номинальный вторичный ток, А	5

Таблица 6 – ТТ стороны N

Параметр	Значение
Тип	ТОЛ – 35 III-IV
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	40,5
Номинальный первичный ток, А	200
Номинальный вторичный ток, А	5

17.4 Технические параметры реактора

Таблица 7

Параметр	Значение
Тип	РТОС-110-350-0,314 УХЛ1
Номинальное напряжение, кВ	110
Номинальный ток, А	350
Номинальная индуктивность, мГн	1

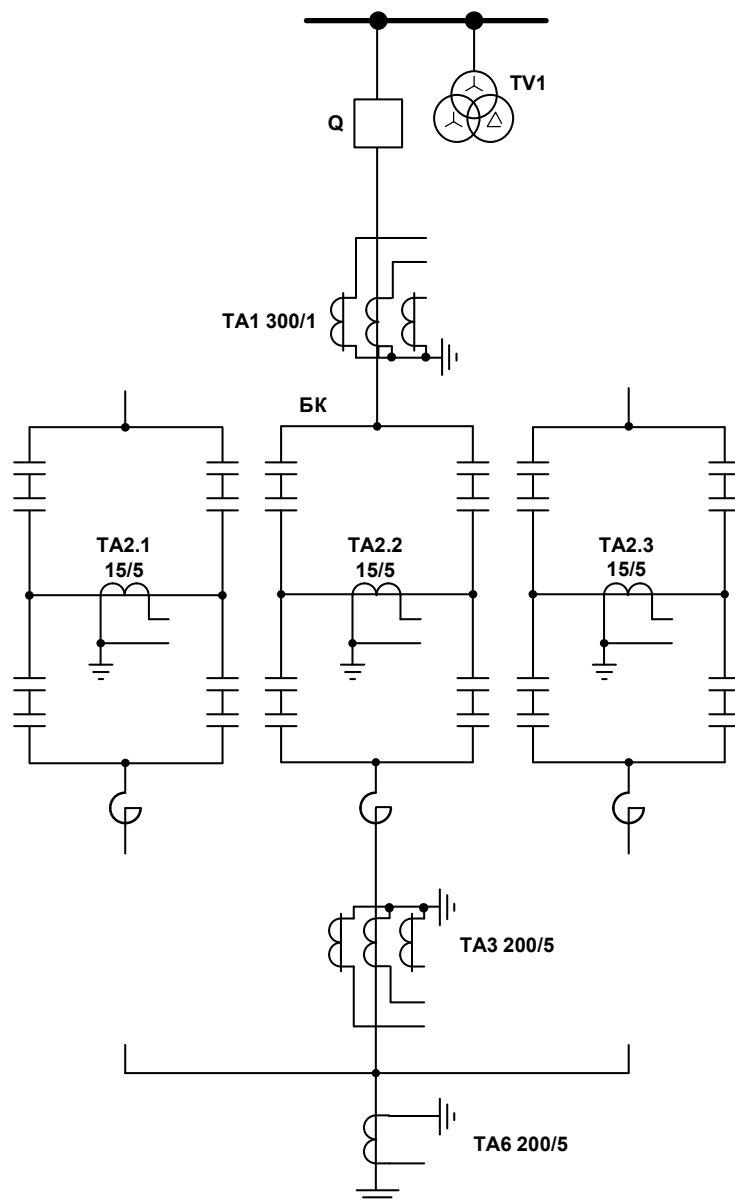


Рисунок 13 – БСК. Поясняющая схема

17.5 Расчёт базисных токов

17.5.1 Расчёт базисных токов стороны ВН

$$I_{\text{БАЗ.ВН}} = K_{\text{ТТ.ВН}} = 300 \text{ A}$$

$$I_{\text{БАЗ.ВН.ВТОР}} = \frac{I_{\text{БАЗ.ВН}}}{K_{\text{ТТ.ВН}}} = \frac{300}{300} = 1 \text{ A}$$

где $K_{\text{ТТ.ВН}} = 300$ – коэффициент трансформации трансформатора тока стороны ВН БСК.

17.5.2 Расчёт базисных токов стороны НВ

$$I_{\text{БАЗ.НВ}} = I_{\text{БАЗ.ВН}} = 300 \text{ А}$$

$$I_{\text{БАЗ.НВ.ВТОР}} = \frac{I_{\text{БАЗ.НВ}}}{K_{\text{ТТ.НВ}}} = \frac{300}{40} = 7,5 \text{ А}$$

где $K_{\text{ТТ.НВ}} = 40$ – коэффициент трансформации трансформатора тока стороны НВ БСК.

17.5.3 Расчёт базисных токов ДТЗ НП

Базисный ток ДТЗ НП равен базисному току стороны ВН.

$$I_{\text{БАЗ.ДТЗ НП ВН}} = I_{\text{БАЗ.ВН}} = 300 \text{ А}$$

$$I_{\text{БАЗ.ДТЗ НП ВН.ВТОР}} = \frac{I_{\text{БАЗ.ДТЗ НП}}}{K_{\text{ТТ.ВН}}} = \frac{300}{300} = 1 \text{ А}$$

где $K_{\text{ТТ.ВН}} = 300$ – коэффициент трансформации трансформатора тока стороны ВН БСК.

$$I_{\text{БАЗ.ДТЗ НП Н.ВТОР}} = \frac{I_{\text{БАЗ.ДТЗ НП}}}{K_{\text{ТТ.Н}}} = \frac{300}{40} = 7,5 \text{ А}$$

где $K_{\text{ТТ.Н}} = 40$ – коэффициент трансформации трансформатора тока нейтрали БСК.

17.5.4 Расчёт базисных токов ЗВП

Для защиты от внутренних повреждений (небалансной защиты), за базисный ток принимается значение первичной обмотки ТТ средней перемычки.

$$I_{\text{БАЗ.СП}} = 3 \text{ А}$$

$$I_{\text{БАЗ.СП.ВТОР}} = \frac{I_{\text{БАЗ.СП}}}{K_{\text{ТТ.СП}}} = \frac{15}{3} = 5 \text{ А}$$

где $K_{\text{ТТ.СП}} = 3$ – коэффициент трансформации трансформатора тока средней перемычки.

17.6 Выбор уставок дифференциальной токовой защиты БСК

17.6.1 Определение начального тока срабатывания ДТЗ БСК

Значение $I_{\text{НБ РАСЧ*}}$:

$$I_{\text{НБ РАСЧ*}} = K_{\text{ПЕР.}} \cdot K_{\text{ОДН.}} \cdot \varepsilon + \Delta f_{\text{ВЫР}} = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,1 + 0,02 = 0,03 \text{ о.е.}$$

где $K_{\text{ПЕР.}} = 2$ – коэффициент, учитывающий переходный процесс при использовании на разных сторонах защищаемой БСК разнотипных трансформаторов тока.

$K_{\text{ОДН.}} = 0,5$ – коэффициент однотипности трансформаторов тока;

$\varepsilon = 0,1$ – относительное значение полной погрешности для ТТ 10Р в режиме, соответствующем установившемуся КЗ.

$\Delta f_{\text{ВЫР}} = 0,02$ – относительная погрешность выравнивания токов плеч. Данная погрешность определяется погрешностями входных ТТ и аналого-цифровыми преобразователями терминала.

Относительный начальный ток срабатывания ДТЗ БСК (чувствительного органа):

$$I_{\text{ДО}^*\text{РАСЧ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{НБ РАСЧ}^*} = 1,1 \cdot 0,03 = 0,033 \text{ о.е.}$$

где $K_{\text{ОТС}} = 1,1$ - коэффициент отстройки, учитывающий погрешности измерительного органа терминала, ошибки расчёта и необходимый запас.

$$I_{\text{ДО}^*\text{РАСЧ}} \leq \frac{I_{\text{Д.МИН}}}{K_{\text{Ч}}} = \frac{I_{\text{НОМ.БСК}}}{2} = \frac{0,441}{2} = 0,2205$$

Сравнивая $I_{\text{ДО}^*\text{РАСЧ}} = 0,033$ о.е. и $I_{\text{ДО}^*\text{РАСЧ}} = 0,2205$ о.е., принимаем $I_{\text{ДО}^*\text{РАСЧ}} = 0,2$ о.е.

17.6.2 Ток начала торможения ДТЗ БСК

$$I_{\text{Т0}} = \frac{I_{\text{НОМ.БСК}}}{I_{\text{БАЗ.СТОП}} \cdot K_{\text{ТТ}}} = \frac{132,3}{1 \cdot 300} = 0,441 \text{ о.е.}$$

Ток начала торможения для принимаем равным $I_{\text{Т0}} = 0,44$ о.е.

17.6.3 Ток торможения блокировки

Определяется исходя из отстройки от максимально возможного сквозного тока нагрузки БСК и может быть принят равным

$$I_{\text{Т.БЛ.}} = K_{\text{ОТС}} \cdot K_{\text{ПРЕД.НАГР}} \cdot \frac{I_{\text{НОМ.НАГР}}}{I_{\text{БАЗ.СТОП}} \cdot K_{\text{ТТ}}} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot \frac{132,3}{1 \cdot 300} = 0,533 \text{ о.е.}$$

где $K_{\text{ОТС}} = 1,1$ – коэффициент отстройки;

$K_{\text{ПРЕД.НАГР.}} = 1,1$ – коэффициент, определяющий предельную нагрузочную способность БСК;

$I_{\text{НОМ.БСК}} = 132,3$ А – номинальный ток БСК;

$I_{\text{БАЗ.СТОП}} = 1$ А – базисный ток стороны ВН;

$K_{\text{ТТ}} = 300$ – коэффициент трансформации ТТ стороны ВН.

17.6.4 Коэффициент торможения

Примем мощность короткого замыкания на шинах, в месте установки БСК равной 600 МВА.

Действующее значение тока включения БСК:

$$I_{\text{ВКЛ.БСК}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{НОМ.БСК}} \left(K_{\text{У}} + \sqrt{\frac{W_{\text{КЗ}}}{Q_{\text{Н.БСК}}}} \right) = \sqrt{2} \cdot 132,3 \left(1,0 + \sqrt{\frac{6,0 \cdot 10^8}{2,5 \cdot 10^7}} \right) = 1098,1 \text{ А}$$

где $I_{\text{НОМ.БСК}} = 132,3$ А – номинальный ток БСК;

$W_{\text{КЗ}} = 600$ МВА – мощность КЗ на шинах, в месте установки БСК;

$Q_{\text{Н.БСК}} = 25$ МВАр – номинальная мощность БСК;

$K_{\text{У}} = 1$ – коэффициент загрузки конденсаторов по напряжению;

Сквозной ток

$$I_{СКВ.} = \frac{I_{ВКЛ.БСК}}{I_{БАЗ.СТОП} \cdot K_{ТТ}} = \frac{1098,1}{1 \cdot 300} = 3,66 \text{ о.е.}$$

где $I_{ВКЛ.БСК} = 1098,1 \text{ А}$ – ток включения БСК;

$I_{БАЗ.СТОП} = 1,0 \text{ А}$ – базисный ток стороны ВН;

$K_{ТТ} = 300$ – коэффициент трансформации ТТ стороны ВН.

Дифференциальный ток

$$I_{Д} = (K_{ПЕР.} \cdot K_{ОДН.} \cdot \varepsilon + \Delta f_{ВЫР.}) \cdot I_{СКВ} = (2 \cdot 0,5 \cdot 0,1 + 0,02) \cdot 3,66 = 0,44 \text{ о.е.}$$

При принятом способе формирования торможения для ДТЗ БСК, тормозной ток равен:

$$I_{Т} = \sqrt{I_{СКВ} \cdot (I_{СКВ} - I_{Д}) \cdot \cos \beta} = \sqrt{3,66 \cdot (3,66 - 0,44) \cdot \cos 20^{\circ}} = 3,32 \text{ о.е.}$$

Коэффициент торможения:

$$K_{Т} \geq \frac{K_{ОТС} \cdot I_{Д} - I_{ДО}}{I_{Т} - I_{ТО}} = \frac{1,1 \cdot 0,44 - 0,2}{3,32 - 0,44} = 0,1$$

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

17.6.5 Ток срабатывания дифференциальной отсечки

Ток срабатывания дифференциальной отсечки рассчитывается исходя из условий отстройки от максимального первичного тока небаланса при включении БСК.

$$I_{Д} = 1,5 \cdot I_{СКВ} (K_{ПЕР.} \cdot K_{ОДН.} \cdot \varepsilon + \Delta f_{ВЫР.}) = 1,5 \cdot 3,66 \cdot (2 \cdot 0,5 \cdot 0,1 + 0,02) = 0,93 \text{ о.е.}$$

17.6.6 Выбор уставок ПО контроля исправности цепей переменного тока

$$I_{ПОКОЦТ} = \frac{I_{ДО*РАСЧ}}{2} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ о.е.}$$

17.6.7 Задержка срабатывания контроля обрыва цепей тока

Рекомендуемое значение уставки ДТЗ_ДТЗ «Время срабатывания контроля обрыва цепей тока ДТЗ» - 10 с.

17.6.8 Задержка срабатывания ДТЗ БСК

Включение БСК характеризуется токами включения, кратно превышающими номинальный ток БСК, особенно это касается режима включения второй батареи в параллель уже включённой первой. При неправильно выбранных трансформаторах тока, возможно их насыщение и излишнее срабатывание дифференциальной защиты. По этой причине, для исключения ложной работы дифференциальной защиты, введена задержка срабатывания ДТЗ БСК. Необходимость введения задержки и её величина определяются в каждом конкретном случае индивидуально.

Задержку на срабатывание принимаем равной нулю.

17.7 Выбор уставки дифференциальной защиты от КЗ на землю (ДТЗ НП)

Уставка по току срабатывания:

$$I_{CP} = \frac{0,15 \cdot I_{НОМ}}{I_{БАЗ}} = \frac{0,15 \cdot 132,3}{300} = 0,07 \text{ о.е.}$$

где $I_{БАЗ} = 1 \text{ А}$ – вторичная величина базисного тока БСК.

Коэффициент торможения принимаем равным $K_T = 0,5$.

Уставка по току начала торможения ДТЗ НП:

$$I_{Т0} = \frac{K_{ОТС} \cdot I_{СКВ.Н}}{I_{БАЗ}} = \frac{1,2 \cdot 1,5 \cdot 132,3}{300} = 0,79 \text{ о.е.}$$

где $K_{ОТС} = 1,2$ – коэффициент отстройки;

$I_{СКВ.Н} = (1,35 \div 1,5) \cdot I_{НОМ}$ – максимальный (сквозной) ток нагрузки БСК;

$I_{БАЗ} = 300 \text{ А}$ – базисный ток стороны ВН БСК.

$I_{НОМ} = 132,3 \text{ А}$ – номинальный ток БСК.

Чувствительность ДТЗ НП обеспечивается в подавляющем большинстве случаев с большим запасом и необходимость в её проверке практически отсутствует.

17.7.1 Задержка срабатывания ДТЗ НП

Необходимость введения задержки и её величина определяются в каждом конкретном случае индивидуально.

Задержку на срабатывание принимаем равной нулю.

17.8 Выбор уставок максимальной токовой защиты стороны ВН

17.8.1 Ток срабатывания I степени МТЗ ВН

Первая ступень МТЗ выполняется в качестве токовой отсечки. Ток срабатывания выбирается исходя из условий отстройки от тока включения БСК.

$$I_{Iст.МТЗ} = \sqrt{3} \cdot K_{ОТС} \cdot I_{ВКЛ.БСК} = 1,73 \cdot 1,5 \cdot 1098,1 = 2849,5 \text{ А}$$

где $\sqrt{3}$ – коэффициент учитывающий работу ПО МТЗ ВН на междуфазных величинах;

$K_{ОТС} = 1,5$ – коэффициент отстройки;

$I_{ВКЛ.БСК} = 1098,1 \text{ А}$ – ток включения БСК.

Проверка чувствительности I степени МТЗ определяется при металлических КЗ по выражению:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ.МИН}}}{I_{\text{Iст.МТЗ}}} \geq 1,2$$

где $I_{\text{КЗ.МИН}}$ – минимальный (по режиму) ток двухфазного КЗ на выводах БСК, А.

17.8.2 Ток срабатывания II ступени МТЗ ВН

Ток срабатывания II ступени МТЗ ВН выбирается по условию отстройки от возможных перегрузок БСК по току при симметричном повышении напряжения в сети.

$$I_{2ст.МТЗ} = \sqrt{3} \cdot K_{отс} \cdot I_{ном.БСК} = 1,73 \cdot 1,3 \cdot 1,35 \cdot 132,3 = 401,6 \text{ А}$$

где $\sqrt{3}$ – коэффициент учитывающий работу ПО МТЗ ВН на междуфазных величинах;

$K_{отс} = 1,3$ – коэффициент отстройки;

$K_{\psi} = 1,35$ – коэффициент запаса, учитывающий перенапряжения в сети ВН;

$I_{ном} = 132,3 \text{ А}$ – номинальный ток БСК.

Проверка чувствительности II ступени МТЗ ВН определяется при металлических КЗ по выражению:

$$K_{\psi} = \frac{I_{кз.мин}}{I_{1ст.МТЗ}} \geq 2$$

где $I_{кз.мин}$ – минимальный (по режиму) ток двухфазного КЗ на ошиновке ВН БСК, А.

17.8.3 Выбор выдержек времени

Задержку на срабатывание первой ступени МТЗ ВН примем равной 0 с.

Задержку на срабатывание второй ступени МТЗ ВН примем равной 1,0 с.

17.9 Выбор уставки защиты от перегрузки (ЗПВГ)

17.9.1 Ток срабатывания ПО ЗПВГ

$$I_{перегр} = K_{отс} \cdot I_{ном.БСК} = 1,3 \cdot 132,3 = 172 \text{ А}$$

где $K_{отс} = 1,3$ – коэффициент отстройки;

Поскольку специальные требования отсутствуют, вторую ступень ЗПВГ не применяем.

17.9.2 Выбор выдержек времени

Уставка выдержки времени ЗПВГ выбирается равной 2,0 с.

17.10 Выбор уставки защиты от повышения напряжения (ЗПН)

Защита от повышения напряжения имеет две ступени. Первая ступень действует на сигнал, вторая ступень - на отключение.

$$U_{зпн.сигн} = 1,1 \cdot U_{ном} = 1,1 \cdot 100 = 110 \text{ В}$$

где $U_{ном} = 100 \text{ В}$ – номинальное напряжение на шинах (вторичная величина).

Выдержку времени сигнальной ступени ЗПН принимаем равной 180 с

Напряжение срабатывания отключающей ступени ЗПН принимаем равным напряжению срабатывания сигнальной ступени:

$$U_{зпн.откл} = U_{зпн.сигн} = 110 \text{ В}$$

Выдержку времени отключающей ступени ЗПН принимаем равной 300 с.

17.11 Выбор уставки защиты минимального напряжения (ЗМН)

Уставку срабатывания ПО блокирующего напряжения принимаем равной 10 В.

$$U_{\text{БЛОК.НАПР.}} = 10 \text{ В}$$

Выдержка времени на отключение БСК определяется по выражению:

$$t_{\text{ЗМН}} = t_{\text{СР.СМ.ПР}} + t_{\text{ЗАП}} = 1,5 + 0,3 = 1,8 \text{ с}$$

где $t_{\text{СР.СМ.ПР}}$ – максимальная выдержка времени резервных защит смежных присоединений в сети ВН, в зоне действия которых не обеспечивается отстройка (не действие) указанной ступени ЗМН БСК;

$t_{\text{ЗАП}}$ – время запаса, выбираемое из диапазона 0,3 – 0,4 с.

17.12 Выбор уставки защиты от внутренних повреждений (ЗВП)

Значения токов срабатывания сигнальной и отключающей ступеней (токи небаланса) защиты от внутренних повреждений могут быть запрошены у производителя БСК.

Ниже приведён расчёт тока небаланса в случае пробоя элемента в ряду единичного конденсатора.

17.12.1 Расчёт тока небаланса

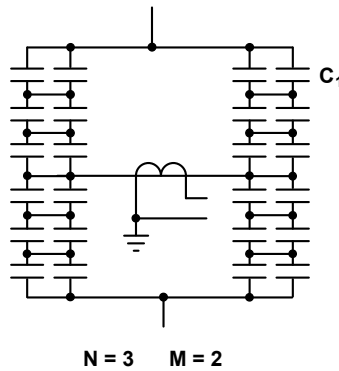


Рисунок 14 – Фаза БСК

Фаза БСК состоит из шести (**N**) последовательно соединённых рядов, в каждом из которых находится четыре (**M**) параллельно соединённых единичных конденсатора (рисунок 14).

Единичный конденсатор состоит из шести (**n**) последовательных рядов, в каждом ряду параллельно соединено 12 (**m**) элементов.

$$I_{\text{НБ.РАСЧ}} = \frac{I_{\text{НОМ}}}{4 \cdot (N \cdot \{M \cdot (n - 1) + 1\}) - 3} = \frac{132,3}{4 \cdot (3 \cdot \{2 \cdot (6 - 1) + 1\}) - 3} = 1,025 \text{ А}$$

где $I_{\text{НОМ.БСК}}$ – номинальный ток БСК;

$M = 2$ – количество конденсаторов в одном ряду блока БСК;

$N = 3$ – количество последовательных рядов конденсаторов блока БСК;

$n = 6$ – количество последовательных рядов конденсаторных элементов единичного конденсатора;

17.12.2 Ток срабатывания отключающей ступени

Ток срабатывания отключающей ступени, действующей на отключение БСК, рассчитывается по чувствительности при повреждении (полном пробое) элемента единичного конденсатора БСК:

$$I_{\text{СР.ОТКЛ.СТ}} \leq \frac{I_{\text{НБ.РАСЧ}}}{K_{\text{ч}}} = \frac{1,025}{1,25} = 0,82 \text{ А}$$

где $K_{\text{ч}} = 1,25$ – коэффициент чувствительности;

Принимаем значение уставки отключающей ступени ЗВП равной 0,82 А

17.12.3 Выбор выдержки времени отключающей ступени

Уставку выдержки времени отключающей ступени ЗВП выбираем равной 1,5 с.

17.12.4 Ток срабатывания сигнальной ступени

Ток срабатывания сигнальной ступени рассчитывается с учётом обеспечения её упреждающего срабатывания при частичном нарушении свойств (изоляции) элемента единичного конденсатора БСК.

$$I_{\text{СР.ОТКЛ.СТ}} = 0,6 \cdot I_{\text{СР.ОТКЛ.СТ}} = 0,6 \cdot 0,82 = 0,492 \text{ А}$$

Обязательным условием является отстройка уставки по току сигнальной ступени от токов небаланса нормального режима по результатам измерений при наладочных работах, или в процессе эксплуатации защиты.

17.12.5 Выбор выдержки времени сигнальной ступени

Выдержку времени сигнальной ступени принимаем равной 10 с.

17.13 Выбор уставки токовой ненаправленной защиты нулевой последовательности на стороне ВН БСК (ТЗНП ВН)

Защита предназначена для резервирования действия быстродействующих защит при КЗ на землю в БСК.

Защита реагирует на расчётный ток нулевой последовательности стороны ВН БСК.

17.13.1 Расчёт I ступени ТЗНП ВН

Ток срабатывания ТЗНП на стороне ВН выбирается по условию отстройки от максимального тока в нулевом проводе ТТ при включении БСК под напряжение

$$I_{\text{СР.СТ.ВН}} \geq 2 \cdot I_{\text{НОМ.БСК}} = 2 \cdot 132,3 = 264,6 \text{ А}$$

где $I_{\text{НОМ}} = 132,3 \text{ А}$ – номинальный ток БСК.

17.13.2 Выдержка времени на отключение и пуск УРОВ БСК:

Задержку на срабатывание I ступени ТЗНП ВН принимаем равной 0,3 с

17.13.3 Расчёт II ступени ТЗНП ВН

Вторая ступень ТЗНП ВН с идентичной уставкой по току срабатывания и с большей (на ступень селективности) выдержкой времени действия для отключения смежных присоединений БСК.

17.13.4 Проверка чувствительности ТЗНП ВН БСК.

Коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}}$ ТЗНП на стороне высоковольтных вводов БСК определяется при металлических КЗ на землю по выражению:

$$K_{\text{ч}} = \frac{3I_{0,3}}{I_{\text{сз}}} \geq 1,5,$$

где $3I_{0,3}$ – минимальный (по режиму) утроенный ток нулевой последовательности, протекающий через защиту от питающей системы при КЗ на землю одной фазы на вводе ВН БСК, А;

$I_{\text{сз}}$ – ток срабатывания защиты, А.

17.14 Выбор уставки токовой ненаправленной защиты нулевой последовательности на стороне нейтральных выводов БСК (ТЗНП НВ)

17.14.1 Расчёт тока срабатывания

Ток срабатывания ТЗНП нейтрали выбирается по условию обеспечения максимальной чувствительности к КЗ на землю на стороне нейтрали БСК, в конце зоны защиты:

$$I_{\text{ср.ТЗНП.НВ}} \leq \frac{I_{\text{НОМ.БСК}}}{K_{\text{ч}}} = 0,65 \cdot I_{\text{НОМ.БСК}}, \text{ А}$$

где $I_{\text{НОМ}} = 132,3 \text{ А}$ – номинальный ток БСК.

$K_{\text{ч}} = 1,5$ – коэффициент чувствительности.

$$I_{\text{ср.ТЗНП.НВ}} \leq \frac{I_{\text{НОМ.БСК}}}{K_{\text{ч}}} = 0,65 \cdot I_{\text{НОМ.БСК}} = 0,65 \cdot 132,3 = 86 \text{ А}$$

Время срабатывания защиты должно быть согласовано с временем действия резервных защит смежных присоединений в сети ВН.

17.14.2 Расчёт выдержки времени

Выдержка времени на отключение и пуск УРОВ БСК:

$$t_{\text{ТЗНП.НВ}} = t_{\text{с.з.ПР}} + t_{\text{ЗАП}}$$

где $t_{\text{с.з.ПР}}$ – максимальная выдержка времени тех ступеней ТЗНП смежных присоединений в сети ВН БСК, в зоне действия которых не обеспечивается отстройка (не действие) указанной функции ТЗНП БСК, с;

$$t_{\text{ЗАП}} = 0,3 \div 0,4 \text{ с} \text{ – время запаса (ступень селективности).}$$

Дополнительная (вторая) ступень ТЗНП НВ на стороне нейтрали БСК может использоваться, с идентичной уставкой по току срабатывания и с большей (на ступень

селективности) выдержкой времени действия для отключения смежных присоединений БСК (шины).

Важным условием является проверка согласования ТЗНП НВ по току срабатывания со вторыми ступенями защит от КЗ на землю указанных линий ($K_{\text{согл}} = 1,1$), так как выполнение этого условия обеспечивает применение минимально возможных выдержек времени срабатывания рассматриваемой защиты.

17.15 Максимальная токовая защита обратной последовательности на стороне высоковольтных вводов БСК (ТЗОП ВН)

Защита предназначена для резервирования действия быстродействующих защит при несимметричных КЗ в БСК.

17.15.1 Расчёт тока срабатывания ТЗОП ВН

Ток срабатывания ТЗОП ВН выбирается по условию отстройки от тока небаланса в БСК при нарушении симметрии напряжений в сети ВН:

$$I_{\text{ср.ТЗОП}} \geq 0,1 \cdot K_U \cdot I_{\text{НОМ.БСК}} = 0,1 \cdot 1,35 \cdot 132,3 = 17,86 \text{ А}$$

где $I_{\text{НОМ}} = 132,3 \text{ А}$ – номинальный ток БСК.

$K_U = 1,35$ – коэффициент запаса, учитывающий перенапряжения в сети ВН, допустимые для БСК в течение ограниченного периода времени.

17.15.2 Расчёт выдержки времени

Выдержка времени на отключение и пуск УРОВ БСК:

$$t_{\text{ТЗОП}} = t_{\text{ср.РЕЗ}} + t_{\text{зап}}, \text{ с}$$

где $t_{\text{ср.РЕЗ}}$ – максимальная выдержка времени резервных защит смежных присоединений в сети ВН, с;

$$t_{\text{зап}} = 0,3 \div 0,4 \text{ с} – \text{ время запаса (ступень селективности)}.$$

17.15.3 Проверка чувствительности ТЗОП БСК.

Коэффициент чувствительности ($K_{\text{ч}}$) ТЗОП на стороне высоковольтных вводов БСК определяется при металлических КЗ по выражению:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{2 \text{ КЗ.МИН}}}{I_{\text{ср.ТЗОП}}} \geq 1,5,$$

где $I_{2 \text{ КЗ.МИН}}$ – минимальный (по режиму) ток обратной последовательности при КЗ в двух фазах на ошиновке ВН, А;

$I_{\text{ср.ТЗОП}}$ – ток срабатывания защиты, А.

17.16 Выбор уставок УРОВ

17.16.1 Расчёт тока срабатывания ПО УРОВ

$$I_{\text{ср.УРОВ}} = 0,1 \cdot I_{\text{НОМ}} = 0,1 \cdot 132,3 = 13,2 \text{ А}$$

где $I_{НОМ} = 132,3 \text{ А}$ – номинальный ток БСК.

17.16.2 Расчёт выдержки времени действия УРОВ «на себя»

Выдержку времени действия УРОВ «на себя» принимаем равной 0,02 с.

17.16.3 Расчёт выдержки времени действия УРОВ

Выдержку времени УРОВ принимаем равной 0,3 с.

17.17 Выбор уставок АУВ

17.17.1 Выбор уставки АПВ

Повторное включение батареи допускается после снижения напряжения в сети до номинального, но не ранее разряда батареи:

$$t_{АПВ} \geq 600, \text{ с}$$

17.17.2 Выбор времени готовности АПВ

Поскольку АПВ разрешается только при отключении БСК от ЗПН и запрещается при действии остальных защит, а выдержка времени АПВ превышает задержки на срабатывание защит, принимаем

$$t_{ГОТ} = 15 \text{ с}$$

17.17.3 Выбор напряжения срабатывания ПО максимального напряжения шин

$$U_{МАХ} = (0,7 - 0,8) \cdot U_{НОМ} = 0,7 \cdot 100 = 70 \text{ В}$$

где $U_{НОМ} = 100 \text{ В}$ – номинальное напряжение шин (вторичная величина).

17.17.4 Выбор времени задержки включения выключателя

Время задержки включения должно быть больше времени разряда батареи

$$t_{Зад.вкл} = 600 \text{ с}$$

17.17.5 Выбор времени включения от АПВ

Выдержка времени включения от АПВ $t_{вклАПВ}$ выбирается исходя из необходимости обеспечения минимальной длительности замкнутого состояния реле включения от АПВ при отсутствии подхвата от ДТ ЭМВ согласно паспортным данным на выключатель:

$$t_{вклАПВ} = t_{ВВ}, \text{ с}$$

где $t_{ВВ}$ – время включения выключателя по паспортным данным, с;

17.17.6 Уставки ЗНФ и ЗНФР

Функции ЗНФ и ЗНФР используются для выключателей с пофазным приводом.

Согласно ПТЭ (п. 5.6.6), если токи в фазах различаются более чем на 10%, работа конденсаторной установки не допускается.

$$I_{СР.ЗНФР} = 0,1 \cdot I_{НОМ.БСК} = 0,1 \cdot 132,3 = 13,2 \text{ А}$$

где $I_{НОМ.БСК} = 132,3 \text{ А}$ – номинальный ток БСК.

Выдержку времени ЗНФ принимаем равной 0,2 с.

Выдержка времени ЗНФР выбирается на 0,3 с большей, чем выдержка времени ЗНФ. Выдержку времени ЗНФР принимаем равной 0,5 с.

17.18 Расчёт уставок АСН

Автоматика снижения напряжения применяется для увеличения напряжения на шинах путём включения БСК в случае снижения напряжения на шинах ниже уставки ПО минимального напряжения.

17.18.1 ПО минимального напряжения шин

Выбор уставки срабатывания ПО минимального напряжения шин должен производиться по согласованию с РДУ.

17.18.2 ПО блокирующего напряжения шин

Выбор уставки срабатывания ПО блокирующего напряжения шин должен производиться по таким образом, чтобы исключить включение батареи на обесточенные шины.

$$U_{\text{блок.шин}} = (0,3 - 0,4) \cdot U_{\text{НОМ}} = 0,4 \cdot 100 = 40 \text{ В}$$

где $U_{\text{НОМ}} = 100 \text{ В}$ – номинальное напряжение шин (вторичная величина).

17.18.3 Выбор времени включения от АСН

Выдержка времени включения от АСН $t_{\text{вклАСН}}$ выбирается исходя из необходимости обеспечения минимальной длительности замкнутого состояния реле включения от АСН при отсутствии подхвата от ДТ ЭМВ согласно паспортным данным на выключатель:

$$t_{\text{вклАСН}} = t_{\text{ВВ}}, \text{ с}$$

где $t_{\text{ВВ}}$ – время включения выключателя по паспортным данным, с.