

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «НТЦ «Механотроника»

_____ А.В. Ефремов

“ _____ ” _____ 2021

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

СТО ДИВГ-064-2021

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА
ЛИНИЙ 110 - 220 кВ**

**Расчёт уставок
Методические указания**

**Санкт-Петербург
2021**

Предисловие

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

В настоящем стандарте приведены методика и пример расчёта уставок дифференциальной защиты линий 6-35 кВ.

Методика расчёта носит рекомендательный характер.

Сведения о стандарте

1 **РАЗРАБОТАН** ООО "НТЦ "Механотроника"

Исполнители:

Главный специалист
СЕЛЬКОВ Е. А.

2 **УТВЕРЖДЁН** Генеральным директором ООО "НТЦ"Механотроника"

3 Код Общероссийского классификатора предприятий и организаций ОКПО - 23048570.

4 **ВВЕДЕН** впервые

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

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

Содержание

1 Область применения	1
2 Обозначения и сокращения	2
3 Общие сведения о ДЗЛ.....	3
3.1 Принцип действия	3
3.2 Защищаемые объекты	5
4 Выбор параметров срабатывания	6
4.1 Выбор номинального тока защиты	6
4.2 Расчет уставок	6
4.3 Особенности расчета уставок ПО на линиях с ответвлениями, при отсутствии комплектов защиты на концах без питания	11
4.4 Предотвращение срабатывания при насыщении ТТ	15
5 Проверка чувствительности	16
6 Пересчет уставок из первичных значений во вторичные значения .	17
Литература	19

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

Дифференциальная защита линий 110-220 кВ

Расчет уставок

Методические указания

Дата введения 2021-08-02

1 Область применения

Настоящий стандарт соответствует требованиям и рекомендациям, изложенным в ПУЭ [1].

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

При разработке настоящего стандарта использована практика, принятая в отечественной электроэнергетике.

В настоящем стандарте дан комплексный подход к выбору схемы и расчету уставок дифференциальной защиты линий 110-220 кВ. В стандарте приведены подробные примеры расчета уставок дифференциальной защиты линий.

Использование стандарта позволит проектным организациям и эксплуатирующим предприятиям наиболее полно реализовать все преимущества, которыми обладают блоки БМРЗ, выпускаемые ООО «НТЦ «Механотроника».

2 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте приняты следующие обозначения и сокращения:

- БМРЗ – блок микропроцессорный релейной защиты;
- БТН – бросок тока намагничивания;
- ГПП – главная понизительная подстанция;
- ГРУ – генераторное распределительное устройство;
- ДЗЛ – дифференциальная защита линии;
- ДЗМФ – дистанционная защита от междуфазных замыканий;
- ДЗТ – дифференциальная защита с торможением;
- ДТО – дифференциальная токовая отсечка;
- ЗРУ – закрытое распределительное устройство;
- КЗ – короткое замыкание;
- о. е. – относительные единицы;
- ПО – пусковой орган;
- ПС – подстанция;
- ПУЭ – правила устройства электроустановок;
- РНМ – реле направления мощности;
- РПН – регулирования напряжения трансформатора под нагрузкой;
- ТЗНП – токовая защита нулевой последовательности;
- ТН – трансформатор напряжения;
- ТТ – трансформатор тока.

3 Общие сведения о ДЗЛ

3.1 Принцип действия

3.1.1 Дифференциальная защита является основной защитой линии с абсолютной селективностью. Принцип действия защиты основан на сравнении токов с разных сторон линии. Для работы защиты необходимо не менее двух комплектов БМРЗ-ДЗЛ, установленных на разных концах линии. Связь между комплектами осуществляется по цифровым каналам связи.

3.1.2 Дифференциальная защита реагирует на дифференциальный ток, равный сумме втекающих в линию токов.

Дифференциальный ток в блоках БМРЗ-ДЗЛ рассчитывается пофазно как векторная сумма токов сторон по формуле

$$I_{\text{диф}} = \left| \sum_{N=1}^6 \frac{i_{B1}^N \cdot n_{T1}^N + i_{B2}^N \cdot n_{T2}^N - i_{\text{емк}}^N}{I_{\text{НОМ}}^N} \right|, \quad (3.1)$$

ток торможения рассчитывается пофазно как полусумма действующих значений токов сторон по формуле

$$I_{\text{торм}} = \sum_{N=1}^6 \left| \frac{|i_{B1}^N \cdot n_{T1}^N - i_{\text{емк}}^N| + |i_{B2}^N \cdot n_{T2}^N|}{2 \cdot I_{\text{НОМ}}^N} \right|, \quad (3.2)$$

где i_{B1}^N, i_{B2}^N - вторичные фазные токи первой и второй группы ТТ стороны N линии, А.

n_{T1}^N, n_{T2}^N - коэффициент трансформации первой и второй группы ТТ стороны N линии;

$I_{\text{НОМ}}^N$ - номинальный первичный ток стороны N линии, А.

3.1.3 Характеристика срабатывания ДТО и ДЗТ представлена на рисунке 3.1.

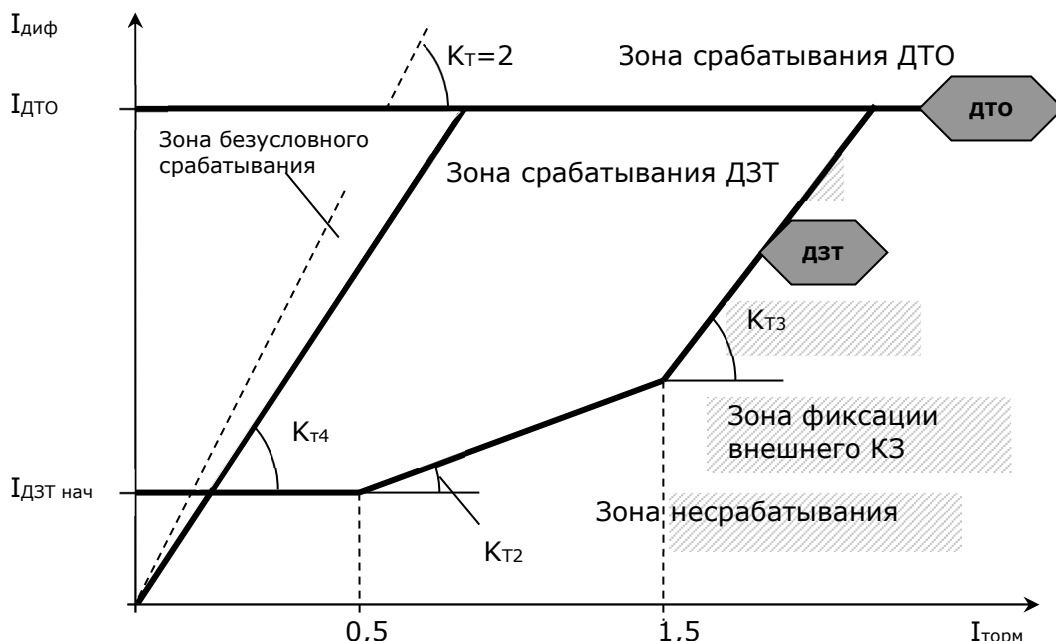


Рисунок 3.1 – Характеристика срабатывания дифференциальной защиты

При отсутствии повреждения внутри защищаемой зоны дифференциальный ток равен току небаланса, ток торможения – току, протекающему по линии.

ДТО предназначена для быстрого и селективного отключения КЗ со значительным дифференциальным током в зоне действия защиты. ДТО отстраивается от максимального небаланса при внешних КЗ. Максимальный ток небаланса возникает при насыщении ТТ апериодической составляющей тока КЗ.

В ДЗТ используется торможение от сквозного тока, протекающего через защищаемый объект. Уставка срабатывания ДЗТ повышается при увеличении сквозного тока. Характеристика торможения ДЗТ отстраивается от тока небаланса в установившемся нагрузочном режиме и в режиме установившегося КЗ.

3.1.4 Для предотвращения ложного срабатывания ДЗТ при больших погрешностях ТТ, возникающих при насыщении ТТ апериодической составляющей тока КЗ, предусмотрены следующие меры:

- фиксация возникновения внешнего КЗ в начальный момент с последующей блокировкой ДЗТ;
- контроль наличия второй гармонической составляющей в дифференциальном токе.

Возникновение внешнего КЗ фиксируется при превышении током торможения значения, равного $1,5 I_{ном}$ (зона фиксации внешнего КЗ показана на рисунке 3.1), после этого происходит блокирование ДЗТ на время $T_{блок}$. Если при действии блокировки происходит внутреннее КЗ, срабатывание ДЗТ осуществляется без выдержки времени по характеристике безусловного срабатывания.

3.1.5 Кабельные линии характеризуются высоким уровнем емкостного тока. При емкостном токе больше 0,2 от номинального тока линии рекомендуется применять компенсацию емкостного тока. В этом случае применяется две ступени ДЗТ:

- грубая ступень, отстроенная от емкостного тока линии;
- чувствительная ступень с блокировкой при нарушении компенсации.

3.1.6 При наличии на линии ответвлений без установленных на них блоков БМРЗ-ДЗЛ защита должна селективно работать в нагрузочном режиме, при КЗ за трансформаторами ответвлений и броске тока намагничивания трансформаторов ответвлений при их включении. Уставку начального тока срабатывания ДЗТ выбирают по условию отстройки от нагрузочного режима ответвлений. Для предотвращения срабатывания при КЗ на ответвлениях и при броске тока намагничивания (БН) трансформаторов ответвлений защита выполняется с пуском от ДЗМФ и ТЗНП.

3.2 Защищаемые объекты

3.2.1 Блоки БМРЗ-ДЗЛ могут выполнять дифференциальную защиту следующих линий:

- двухконцевых линий (рисунок 3.2). Источники питания могут быть как с одной, так и с двух сторон;

- линий с ответвлениями без источников питания (рисунок 3.3). Отстройка от КЗ за ответвлениями выполняется с помощью комплекта дополнительных пусковых органов. При невозможности отстройки от КЗ за ответвлениями на них должен быть установлен дополнительный комплект ДЗЛ. На линии может быть несколько ответвлений;

- линий с ответвлениями с источниками питания (рисунок 3.4). На каждом ответвлении с источником питания должен быть установлен комплект ДЗЛ.

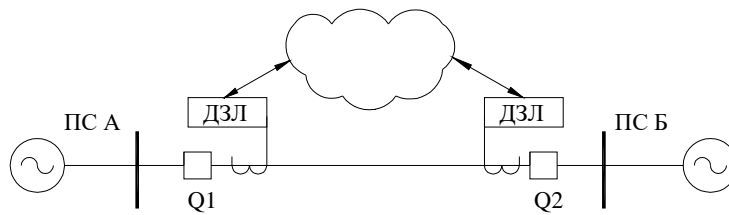


Рисунок 3.2 - Двухконцевая линия

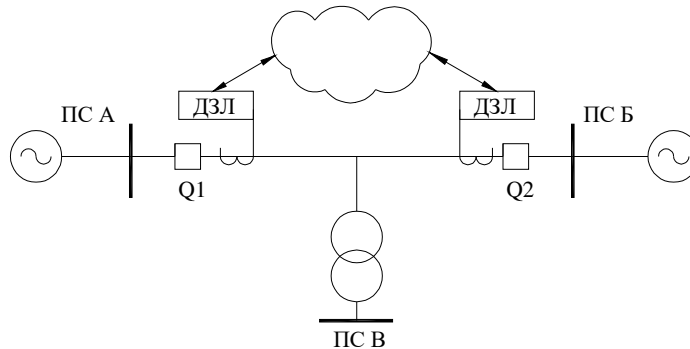


Рисунок 3.3 - Линия с ответвлением без источников питания

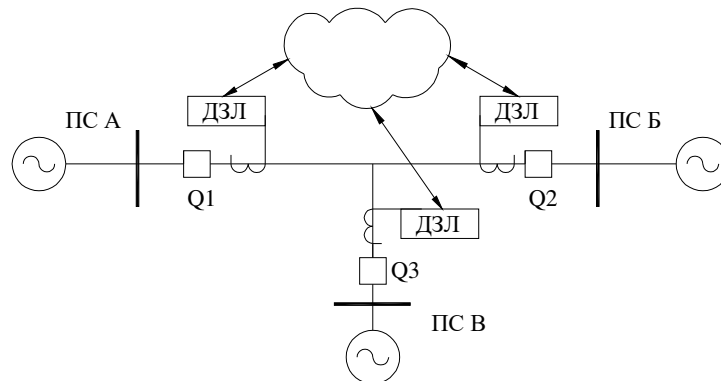


Рисунок 3.4 - Линия с ответвлениями с источниками питания

4 Выбор параметров срабатывания

4.1 Выбор номинального тока защиты

4.1.1 Характеристика срабатывания ДТО и ДЗТ в блоке задается в относительных значениях. Для пересчета измеряемых вторичных токов в относительные значения необходимо выбрать номинальный ток защиты.

4.1.2 Для каждого плеча дифференциальной защиты выбирают номинальный первичный ток $I_{пл}$, А.

Номинальный первичный ток плеча $I_{пл}$, А, принимают равным наименьшему из следующих значений:

- максимальный рабочий ток, протекающий в месте установки комплекта;

- номинальный первичный ток ТТ.

4.1.3 Номинальный первичный ток защиты $I_{ном}$, А, принимают равным наибольшему из значений, рассчитанных согласно 4.1.2. Номинальный первичный ток защиты принимают одинаковым для всех плеч, находящихся на одном классе напряжения.

4.2 Расчет уставок

4.2.1 Расчет уставок ДТО

4.2.1.1 Уставку срабатывания ДТО выбирают такой, чтобы обеспечить отстройку от расчётного максимального тока небаланса в переходном процессе при внешних КЗ. Погрешность ТТ с учетом насыщения апериодической составляющей может достигать 70 %.

4.2.1.2 Для отстройки от расчётного максимального тока небаланса при внешних КЗ значение уставки $I_{ДТО}$, о.е., определяют по формуле

$$I_{ДТО} = k_{отс} \cdot (\varepsilon_{апер} + \gamma + \gamma_{синхр}) \cdot I_{КЗ\ макс}^{(3)} / I_{ном}, \quad (4.1)$$

где $k_{отс} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$\varepsilon_{апер}$ – относительная полная погрешность ТТ в переходном режиме. ДТО выполняется без блокировки в переходном режиме, поэтому $\varepsilon_{апер}$ принимается равной 0,7;

$\gamma = 0,03$ – относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч;

$\gamma_{синхр}$ – относительная погрешность синхронизации комплектов;

$I_{КЗ\ макс}^{(3)}$ – максимальное значение тока трехфазного КЗ в месте установки защиты при КЗ на шинах ПС на противоположном конце линии в максимальном режиме системы, А;

$I_{ном}$ – номинальный первичный ток защиты, А.

4.2.1.3 Относительную погрешность синхронизации комплектов при связи по выделенной ВОЛС рассчитывают по формуле

$$\gamma_{синхр} = (n - 1) \cdot \gamma_T, \quad (4.2)$$

где n – количество комплектов ДЗЛ;

$\gamma_T = 0,02$ – относительная погрешность синхронизации комплектов.

4.2.1.4 Относительную погрешность $\gamma_{\text{синхр}}$ при синхронизации комплектов от внешнего источника принимают равной 0,02 вне зависимости от количества комплектов.

4.2.1.5 Относительная погрешность синхронизации при связи комплектов через мультиплексируемые каналы связи обусловлена асимметрией канала связи. Относительную погрешность, обусловленную асимметрией канала связи, рассчитывают по формуле

$$\gamma_{\text{синхр}} = 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot T_{\text{ассим.}}, \quad (4.3)$$

где $f_0 = 50$ Гц – частота сети;

$T_{\text{ассим.}}$ – максимальная асимметрия канала связи, с.

Относительную погрешность синхронизации принимают не менее 0,02.

4.2.1.6 ДТО выполняют без выдержки времени.

4.2.2 Начальный ток срабатывания ДЗТ

4.2.2.1 Уставку начального тока срабатывания ДЗТ $I_{\text{ДЗТ нач.}}$ о. е., выбирают по условию отстройки от небаланса в точке излома характеристики торможения при $I_{\text{торм}} = 0,5$ по формуле

$$I_{\text{ДЗТ нач.}} = k_{\text{отс}} \cdot (\varepsilon_{\text{пер}} + \gamma + \gamma_{\text{синхр}}) \cdot I_{\text{торм}} + k'_{\text{отс}} \cdot I_C / I_{\text{ном}}, \quad (4.4)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$\varepsilon_{\text{пер}} = 0,1$ – относительная полная погрешность ТТ в установившемся режиме КЗ;

γ – относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч;

$\gamma_{\text{синхр}}$ – относительная погрешность синхронизации комплектов;

$I_{\text{торм}} = 0,5$ – значение тока торможения, о.е.;

$k'_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас. Для ступени без компенсации емкостного тока линии принимается равным 2,5, для ступени с компенсацией емкостного тока линии равным 1,5;

I_C – емкостной ток линии в установившемся режиме, А;

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

4.2.2.2 Емкостной ток линии в установившемся режиме может быть рассчитан исходя из удельных параметров линий по формуле

$$I_C = I_{C \text{ уд.}} \cdot L, \quad (4.5)$$

Удельные параметры воздушных и кабельных линии приведены в [2]. В таблице 4.1 приведены удельные емкостные токи линий 110-220 кВ.

Таблица 4.1 – Удельные параметры воздушных линий [2]

$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{C \text{ уд.}}, \text{А/км}$
110	0,17
220	0,34

Удельные емкостные токи кабельных линий зависят от сечения жил, поэтому необходимо рассчитать удельный емкостной ток линии из данных, приведенных в справочниках. В таблице 4.2 приведен диапазон удельных емкостных токов кабельных линий 10-110 кВ для различного сечения жил.

Таблица 4.2 – Удельные параметры кабельных линий из СПЭ [2]

$U_{\text{НОМ}}$, кВ	Сечение жилы, мм ²	$I_{C \text{ уд}}$, А/км
10	50-800	0,41-1,23
20	50-800	0,62-1,8
35	50-800	0,9-2,5
110	185-800	2,6-4,4

4.2.2.3 Уставка начального тока срабатывания ДЗТ $I_{\text{ДЗТ нач}}$, о. е., для каждого комплекта должна удовлетворять условию

$$I_{\text{ДЗТ нач}} \geq \frac{I_{\text{мин}} \cdot n_{\text{T}}}{I_{\text{НОМ}}} \quad (4.6)$$

где $I_{\text{мин}}$ – нижняя граница диапазона контролируемых значений токов блока, А;

n_{T} – коэффициент трансформации трансформаторов тока;

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

4.2.2.4 Значение уставки начального тока срабатывания ДЗТ $I_{\text{ДЗТ нач}}$, о. е., принимают равным наибольшему из рассчитанных значений, но не менее 0,2. Значение уставки $I_{\text{ДЗТ нач}}$ уточняют при проведении пусконаладочных работ и в процессе эксплуатации.

4.2.3 Коэффициент торможения второго участка

4.2.3.1 Коэффициент торможения второго участка K_{T2} характеристики торможения ДЗТ рассчитывают по условию отстройки от небаланса в точке излома характеристики при $I_{\text{торм}} = 1,5$ по формуле

$$K_{\text{T2}} = \frac{I_{\text{ДЗТ2}} - I_{\text{ДЗТ нач}}}{1,5 - 0,5} \quad (4.7)$$

где $I_{\text{ДЗТ2}}$ – ток срабатывания ДЗТ при токе торможения 1,5, о. е.;

$I_{\text{ДЗТ нач}}$ – уставка начального тока срабатывания ДЗТ, о. е.

4.3.3.2 Ток срабатывания ДЗТ $I_{\text{ДЗТ2}}$, о. е., соответствующий току торможения $I_{\text{торм}} = 1,5$, вычисляют по формуле

$$I_{\text{ДЗТ2}} = k_{\text{отс}} \cdot (\varepsilon_{\text{пер}} + \gamma + \gamma_{\text{синхр}}) \cdot I_{\text{торм}} + k'_{\text{отс}} \cdot I_{\text{C}} / I_{\text{НОМ}}, \quad (4.8)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$\varepsilon_{\text{пер}} = 0,1$ – относительная полная погрешность ТТ в установившемся режиме КЗ;

γ – относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч;

$\gamma_{\text{синхр}}$ – относительная погрешность синхронизации комплектов;

$I_{\text{торм}} = 1,5$ – значение тока торможения, о. е.;

$k'_{отс} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас. Для ступени без компенсации емкостного тока линии принимается равным 2,5, для ступени с компенсацией емкостного тока линии - 1,5;

I_c – емкостной ток линии в установившемся режиме, А;

$I_{ном}$ – номинальный первичный ток защиты, А.

4.2.3.3 Значение уставки коэффициента торможения второго участка $K_{т2}$, принимают равным наибольшему из рассчитанных значений, но не менее 0,2. Значение уставки $K_{т2}$ уточняют при проведении пусконаладочных работ и в процессе эксплуатации.

4.2.4 Коэффициент торможения третьего участка

4.2.4.1 Коэффициент торможения $K_{т3}$ третьего участка характеристики торможения ДЗТ рассчитывают по условию отстройки от погрешности ТТ в установившемся режиме КЗ при насыщении ТТ периодической составляющей тока КЗ по формуле

$$K_{т3} = \frac{I_{ДЗТ3} - I_{ДЗТ2}}{I_{КЗ макс}^{(3)} / I_{ном} - 1,5} \quad (4.9)$$

где $I_{ДЗТ3}$ – ток срабатывания ДЗТ при токе торможения $I_{КЗ макс}^{(3)}$, о.е.;

$I_{ДЗТ2}$ – ток срабатывания ДЗТ при токе торможения 1,5, о.е.;

$I_{КЗ макс}^{(3)}$ – максимальное значение тока трехфазного КЗ в месте установки защиты при КЗ на шинах ПС на противоположном конце линии в максимальном режиме системы, А;

$I_{ном}$ – номинальный первичный ток защиты, А.

4.2.4.2 Ток срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ3}$, о.е., соответствующий максимальному току внешнего КЗ $I_{КЗ макс}^{(3)}$, вычисляют по формуле

$$I_{ДЗТ3} = k_{отс} \cdot (\varepsilon_{пер} + \gamma + \gamma_{синхр}) \cdot I_{КЗ макс}^{(3)} / I_{ном}, \quad (4.10)$$

где $k_{отс} = 1,5$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$\varepsilon_{пер}$ – относительная полная погрешность ТТ в установившемся режиме КЗ. Рассчитывают согласно [3];

γ – относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч;

$\gamma_{синхр}$ – относительная погрешность синхронизации комплектов;

$I_{КЗ макс}^{(3)}$ – максимальное значение тока трехфазного КЗ в месте установки защиты при КЗ на шинах ПС на противоположном конце линии в максимальном режиме системы, А;

$I_{ном}$ – номинальный первичный ток защиты, А.

4.2.4.3 Ток срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ2}$, о.е., соответствующий току торможения, равному 1,5 о.е., вычисляют по формуле

$$I_{ДЗТ2} = I_{ДЗТ нач} + (1,5 - 0,5) \cdot K_{т2}, \quad (4.11)$$

где $I_{ДЗТ нач}$ – уставка начального тока срабатывания ДЗТ, о.е.;

$k_{т2}$ – коэффициент торможения второго участка ДЗТ.

4.2.4.4 Отстройка от погрешности ТТ в переходном процессе при насыщении ТТ апериодической составляющей тока КЗ достигается одним из следующих способов:

- 1) увеличение значения коэффициента торможения $K_{Т3}$;
- 2) применение блокировки по второй гармонике;
- 3) применение функции фиксации внешнего КЗ в начальный момент с последующей блокировкой ДЗТ.

Минимальные рекомендуемые значения коэффициента торможения $K_{Т3}$ в зависимости от способа отстройки приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Минимальные значения уставки $K_{Т3}$

Наименование	Обозначение	Условие	Минимальное рекомендуемое значение
Коэффициент торможения третьего участка	$K_{Т3}$	ДЗТ без контроля дополнительных условий	1,6
		Введена блокировка по второй гармонике	0,3
		Введена фиксация внешнего КЗ в начальный момент	1,0

4.2.4.5 Значение уставки коэффициента торможения третьего участка $K_{Т3}$, принимают равным наибольшему из рассчитанных значений, но не менее $K_{Т2}$.

4.2.4.6 ДЗТ выполняют без выдержки времени.

4.3 Особенности расчета уставок ПО на линиях с ответвлениями, при отсутствии комплектов защиты на концах без питания

4.3.1 Общие требования

4.3.1.1 В случае, когда на концах без питания не устанавливаются комплекты защиты, необходимо учитывать дополнительные условия:

- защита не должна срабатывать от токов нагрузки, подключенной к ответвлениям;
- защита не должна срабатывать при КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект ДЗЛ;
- защита не должна срабатывать при одностороннем включении линии под напряжение в условиях броска тока намагничивания трансформаторов ответвлений, на которых не установлены комплекты ДЗЛ.

4.3.1.2 Если указанные меры не обеспечивают необходимое значение коэффициента чувствительности защиты, рекомендуется рассмотреть возможность установки на конце линии без питания дополнительного комплекта защиты.

4.3.2 Расчет уставок ДТО

4.3.2.1 Уставку срабатывания ДТО выбирают такой, чтобы обеспечить отстройку от:

- расчётного максимального тока небаланса в переходном процессе при внешних КЗ. Погрешность ТТ с учетом насыщения апериодической составляющей может достигать 70 %;
- БТН силовых трансформаторов ответвлений без комплектов защиты;
- максимального значения тока трехфазного КЗ за трансформатором ответвления без комплекта защиты.

Из полученных значений в качестве уставки срабатывания ДТО следует принять наибольшее значение.

4.3.2.2 Для отстройки от расчётного максимального тока небаланса при внешних КЗ значение уставки $I_{ДТО, о.е.}$, определяют по формуле (4.1).

4.3.2.3 Для отстройки от БТН значение уставки $I_{ДТО, о.е.}$, определяют по формуле

$$I_{ДТО} = k_{отс} \cdot I_{ном тр} / I_{ном} \quad (4.12)$$

где $k_{отс}$ = от 4 до 5 – коэффициент отстройки;

$I_{ном тр}$ – номинальный первичный ток трансформатора, А;

$I_{ном}$ – номинальный первичный ток защиты, А.

4.3.2.4 По условию отстройки от максимального тока КЗ за трансформатором ответвления значение уставки $I_{ДТО, о.е.}$, выбирают по формуле

$$I_{ДЗТ нач} = k_{отс} \cdot I_{КЗ макс}^{(3)} \quad (4.13)$$

где $k_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность измерения и необходимый запас;

$I_{КЗ\ макс}^{(3)}$ – периодическая составляющая максимального трехфазного тока КЗ за трансформатором ответвления в максимальном режиме работы энергосистемы, А.

4.3.2.5 ДТО выполняют без выдержки времени.

4.3.3 Начальный ток срабатывания ДЗТ

4.3.3.1 Уставку начального тока срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ\ нач}$, о.е., выбирают по условию отстройки от небаланса в точке излома характеристики торможения при $I_{торм} = 1,5$ по формуле (4.8).

4.3.3.2 По условию отстройки от максимальной нагрузки ответвлений уставку начального тока срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ\ нач}$, о.е. выбирают по формуле

$$I_{ДЗТ\ нач} = k_{отс} \cdot I_{н.макс} \quad (4.14)$$

где $k_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность измерения и необходимый запас;

$I_{н.макс}$ – максимальный ток нагрузки всех ответвлений с учетом самозапуска двигателей, А.

4.3.3.3 Уставка начального тока срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ\ нач}$, о.е. для каждого комплекта должна удовлетворять условию

$$I_{ДЗТ\ нач} \geq \frac{I_{мин} \cdot n_T}{I_{ном}} \quad (4.15)$$

где $I_{мин}$ – нижняя граница диапазона контролируемых значений токов блока, А;

n_T – коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$I_{ном}$ – номинальный первичный ток защиты, А.

4.3.3.4 Значение уставки начального тока срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ\ нач}$, о.е., принимают равным наибольшему из рассчитанных значений, но не менее 0,2. Значение уставки $I_{ДЗТ\ нач}$ уточняют при проведении пусконаладочных работ и в процессе эксплуатации.

4.3.3.5 Коэффициент торможения второго участка $K_{Т2}$ характеристики торможения ДЗТ принимают равным 0.

4.3.4 Коэффициент торможения третьего участка

4.3.4.1 Коэффициент торможения $K_{Т3}$ третьего участка характеристики торможения ДЗТ рассчитывают по условию отстройки от погрешности ТТ в установившемся режиме КЗ при насыщении ТТ периодической составляющей тока КЗ по формуле

$$K_{Т3} = \frac{I_{ДЗТ3} - I_{ДЗТ\ нач}}{I_{КЗ\ макс}^{(3)} / I_{ном} - 1,5} \quad (4.16)$$

где $I_{ДЗТ3}$ – ток срабатывания ДЗТ при токе торможения $I_{КЗ\ макс}^{(3)}$, о.е.;

$I_{ДЗТ\ нач}$ – уставка начального тока срабатывания ДЗТ, о.е.;

$I_{\text{НОМ}}$ - номинальный первичный ток защиты, А;
 $I_{\text{КЗ макс}}^{(3)}$ - максимальное значение тока трехфазного КЗ в месте установки защиты при КЗ на шинах ПС на противоположном конце линии в максимальном режиме системы, А.

4.3.4.2 Ток срабатывания ДЗТ $I_{\text{ДЗТЗ}}$, о.е., соответствующий максимальному току внешнего КЗ $I_{\text{КЗ макс}}^{(3)}$, вычисляют по формуле

$$I_{\text{ДЗТЗ}} = k_{\text{отс}} \cdot (\varepsilon_{\text{пер}} + \gamma + \gamma_{\text{синхр}}) \cdot I_{\text{КЗ макс}}^{(3)} / I_{\text{НОМ}}, \quad (4.17)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,5$ - коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$\varepsilon_{\text{пер}}$ - относительная полная погрешность ТТ в установившемся режиме КЗ. Рассчитывают согласно [3];

γ - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч;

$\gamma_{\text{синхр}}$ - относительная погрешность синхронизации комплектов;

$I_{\text{КЗ макс}}^{(3)}$ - максимальное значение тока трехфазного КЗ в месте установки защиты при КЗ на шинах ПС на противоположном конце линии в максимальном режиме системы, А;

$I_{\text{НОМ}}$ - номинальный первичный ток защиты, А.

4.3.4.3 Отстройка от погрешности ТТ в переходном процессе при насыщении ТТ апериодической составляющей тока КЗ достигается одним из следующих способов:

- 1) увеличение значения коэффициента торможения $K_{\text{ТЗ}}$;
- 2) применение блокировки по второй гармонике;
- 3) применение функции фиксации внешнего КЗ в начальный момент с последующей блокировкой ДЗТ.

Минимальные рекомендуемые значения коэффициента торможения $K_{\text{ТЗ}}$ в зависимости от способа отстройки приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Минимальные значения уставки $K_{\text{ТЗ}}$

Наименование	Обозначение	Условие	Минимальное рекомендуемое значение
Коэффициент торможения третьего участка	$K_{\text{ТЗ}}$	ДЗТ без контроля дополнительных условий	1,6
		Введена блокировка по второй гармонике	0,3
		Введена фиксация внешнего КЗ в начальный момент	1,0

4.3.4.4 Значение уставки коэффициента торможения третьего участка $K_{\text{ТЗ}}$, принимают равным наибольшему из рассчитанных значений, но не менее $K_{\text{Т2}}$.

4.3.4.5 ДЗТ выполняют без выдержки времени.

4.3.5 Расчет уставок ПО сопротивления

4.3.5.1 Первичное сопротивление срабатывания по условию отстройки от КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект ДЗЛ, определяют по формуле

$$Z_{\text{отв.}} = k_{\text{отс}} \cdot \left(Z'_{1\text{линии}} + \frac{Z_{1\text{отв.}} + Z_{1\text{тр}}}{k_{\text{т}}} \right) \quad (4.18)$$

где $k_{\text{отс}} = 0,85$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$Z'_{1\text{линии}}$ – первичное полное сопротивление защищаемой линии от места установки защиты до ответвления, Ом;

$Z_{1\text{отв.}}$ – первичное полное сопротивление ответвления, Ом;

$Z_{1\text{тр}}$ – минимальное первичное сопротивление трансформатора с учетом РПН, Ом;

$k_{\text{т}}$ – коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки защиты к току в трансформаторе, за которым рассматривается КЗ. При определении $k_{\text{т}}$ в качестве расчетного рассматривается режим, когда линия включена с той питающей стороны, где установлен рассматриваемый комплект, при этих условиях $k_{\text{т}} = 1$.

4.3.5.2 Первичное сопротивление срабатывания $Z_{\text{отв}}$ должно быть отстроено от броска тока намагничивания трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, при включении линии под напряжение. Расчет сопротивления трансформаторов в условиях броска тока намагничивания (см. [4]). Условие является расчетным при наличии на линии нескольких ответвлений без установленных комплектов защиты.

Выполнение условия отстройки от броска тока намагничивания при включении линии под напряжение проверяется при проведении наладочных работ и в условиях эксплуатации.

4.3.5.3 ПО должен быть направленным для предотвращения срабатывания при КЗ на шинах за счет подпитки места КЗ от двигателей нагрузки. Для этого уставка коэффициента смещения $K_{\text{см}}$ должна быть задана равной 0.

При установке ТН на линии, при включении линии под напряжение рекомендуется работа ПО в ненаправленном режиме для предотвращения отказа защиты.

4.3.5.4 Проверка чувствительности отключающего ПО $Z_{\text{отв}}$ выполняется согласно разделу 5.

4.3.6 Расчет уставок направленного ПО нулевой последовательности

4.3.6.1 Первичный ток срабатывания направленного ПО нулевой последовательности $I_{0\text{отв.}}$, А, рассчитывают по условию отстройки от небаланса при КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект защиты, по формуле

$$I_{0 \text{ отв.}} = k_{\text{отс}} \cdot f_{\text{расч}} \cdot I_{\text{КЗ макс}}, \quad (4.19)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,4$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас;

$f_{\text{расч}} = 0,1$ – относительная токовая погрешность ТТ при КЗ;

$I_{\text{КЗ макс}}$ – максимальный первичный ток в месте установки комплекта при трехфазном КЗ за трансформатором ответвления, на котором не установлен комплект защиты, А.

4.3.6.2 Направленный ПО нулевой последовательности должен выполняться с блокировкой по второй гармонике тока нулевой последовательности для предотвращения срабатывания защиты:

- в переходных режимах в условиях насыщения трансформаторов тока;

- в условиях броска тока намагничивания силовых трансформаторов, возникающего при включении линии.

Уставку по содержанию второй гармонике в токе нулевой последовательности $K_{2г.}$ принимают равной 0,15. Длительность блокировки $T_{\text{блок. 2г.}}$ не должна превышать 1 с.

4.3.6.3 Направленный ПО нулевой последовательности отстроен от напряжения небаланса нормального режима и от напряжения небаланса, возникающего при трехфазных КЗ на шинах в месте установки защиты.

Вторичное напряжение срабатывания по напряжению нулевой последовательности принимают равным $U_{0 \text{ отв. с.р.}} = 5 \text{ В}$.

4.3.6.4 Направленный ПО нулевой последовательности должен выполняться с контролем от разрешающего РНМ.

Угол максимальной чувствительности РНМ нулевой последовательности рассчитывают по формуле

$$\Phi_{0 \text{ м.ч.}} = \arctg \left(\frac{X_{0 \text{ линии}}}{R_{0 \text{ линии}}} \right) \quad (4.20)$$

где $X_{0 \text{ линии}}$ – реактивное сопротивление нулевой последовательности защищаемой линии, Ом;

$R_{0 \text{ линии}}$ – активное сопротивление нулевой последовательности защищаемой линии, Ом.

4.3.6.5 Проверка чувствительности по току $I_{0 \text{ отв.}}$ и напряжению $U_{0 \text{ отв.}}$ выполняется согласно разделу 5.

4.4 Предотвращение срабатывания при насыщении ТТ

4.4.1 Предотвращение излишних срабатываний ДЗТ при насыщении ТТ апериодической составляющей тока внешнего КЗ происходит за счет принятия одной из следующих мер:

- фиксация возникновения внешнего КЗ в начальный момент с последующей блокировкой ДЗТ;

- контроль наличия второй гармонической составляющей в дифференциальном токе.

При применении блокировки после фиксации внешнего КЗ необходимо рассчитать время до насыщения согласно разделу 5.

Отсутствие излишних срабатываний дифференциальной защиты обеспечивается при выполнении следующих условий

$$T_{\text{нас}} \geq 0,02 \text{ с, если } 1,5 \cdot I_{\text{НОМ}} \leq I_{\text{КЗ}} < 3 \cdot I_{\text{НОМ}} \quad (4.21)$$

$$T_{\text{нас}} \geq 0,01 \text{ с, если } I_{\text{КЗ}} \geq 3 \cdot I_{\text{НОМ}} \quad (4.22)$$

где $I_{\text{НОМ}}$ - номинальный первичный ток защиты (см. 4.1.3), А;

$I_{\text{КЗ}}$ - расчетное значение периодической составляющей тока КЗ, А.

При применении блокировки по второй гармонике расчет времени до насыщения допустимо не выполнять.

4.4.2 Выдержку времени блокировки ДЗТ после фиксации внешнего КЗ рассчитывают по формуле

$$T_{\text{блок}} = 3 \cdot T_{\text{а}} \quad (4.23)$$

где $T_{\text{а}}$ - постоянная времени внешнего КЗ, с.

4.4.3 Коэффициент торможения зоны безусловного срабатывания ДЗТ рекомендуется принимать не менее 1,8.

5 Проверка чувствительности

5.1 Коэффициент чувствительности ДЗТ при металлическом КЗ определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ мин}}}{I_{\text{ДЗТ ном}} \cdot I_{\text{НОМ}}}, \quad (5.1)$$

где $I_{\text{КЗ мин}}$ - ток металлического двухфазного КЗ в минимальном режиме работы в точке, в которой значение тока минимально, А;

$I_{\text{ДЗТ ном}}$ - ток срабатывания ДЗТ при токе торможения, равно $I_{\text{НОМ}}$, о.е.;

$I_{\text{НОМ}}$ - номинальный первичный ток защиты, А.

5.2 Ток срабатывания ДЗТ при токе торможения, равно $I_{\text{НОМ}}$ рассчитывают по формуле

$$I_{\text{ДЗТ ном}} = I_{\text{ДЗТ нач}} + 0,5 \cdot k_{\text{т2}}, \quad (5.2)$$

где $I_{\text{ДЗТ нач}}$ - уставка начального тока срабатывания ДЗТ, о.е.;

$k_{\text{т2}}$ - коэффициент торможения второго участка ДЗТ.

5.3 Коэффициент чувствительности защиты должен быть $k_{\text{ч}} > 2$ [1].

5.4 Чувствительность ПО сопротивления определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{Z_{\text{откл.}}}{Z_{\text{линии}}}, \quad (5.3)$$

где $Z_{\text{откл.}}$ - первичное сопротивление срабатывания ПО сопротивления, Ом;

$Z_{\text{линии}}$ - первичное полное сопротивление прямой последовательности защищаемой линии, Ом.

Коэффициент чувствительности по сопротивлению должен быть $k_{\text{ч}} > 1,5$.

5.5 Чувствительность отключающего ПО нулевой

последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{0 \text{ КЗ мин}}}{I_{0 \text{ откл.}}}, \quad (5.4)$$

где $3I_{0 \text{ КЗ мин}}$ - минимальное из значений токов нулевой последовательности при однофазном и двухфазном КЗ на землю на противоположном, по отношению к месту установки рассматриваемого комплекта, конце линии, А;

$I_{0 \text{ откл.}}$ - первичный ток срабатывания отключающего ПО, А.

Коэффициент чувствительности по току нулевой последовательности должен быть $k_{\text{ч}} > 2$.

5.6 Коэффициент чувствительности по напряжению нулевой последовательности определяют по формуле

$$k_{\text{ч}} = \frac{3U_{0 \text{ КЗ мин}}}{U_{0 \text{ с.з.}}}, \quad (5.5)$$

где $U_{0 \text{ КЗ мин}}$ - минимально возможное напряжение нулевой последовательности в реле при КЗ на противоположном конце линии, В;

$U_{0 \text{ с.з.}}$ - напряжение срабатывания отключающего ПО, В.

Коэффициент чувствительности по напряжению нулевой последовательности должен быть $k_{\text{ч}} > 2$.

6 Пересчет уставок из первичных значений во вторичные значения

6.1 Блоки БМРЗ-ДЗЛ подключают к первичной сети через ТТ и ТН. Измеренные вторичные токи и напряжения сравниваются с уставками срабатывания. Для работы блока БМРЗ-ДЗЛ первичные значения, полученные при расчете уставок, необходимо пересчитать во вторичные значения.

6.2 Пересчет тока, выраженного в первичных значениях, во вторичные значения выполняют по формуле

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{I_{\text{с.з.}}}{n_{\text{Т}}}, \quad (6.1)$$

где $I_{\text{с.з.}}$ - ток срабатывания защиты, выраженный в первичных значениях, А;

$n_{\text{Т}}$ - коэффициент трансформации ТТ.

6.3 Пересчет напряжения, выраженного в первичных значениях, во вторичные значения выполняют по формуле

$$U_{\text{с.р.}} = \frac{U_{\text{с.з.}}}{n_{\text{Н}}}, \quad (6.2)$$

где $U_{\text{с.з.}}$ - напряжение срабатывания защиты, выраженное в первичных значениях, В;

$n_{\text{Н}}$ - коэффициент трансформации ТН.

6.4 Пересчет сопротивления, выраженного в первичных значениях, во вторичные значения выполняют по формуле

$$Z_{\text{с.р.}} = Z_{\text{с.з.}} \cdot \frac{n_{\text{Т}}}{n_{\text{Н}}}, \quad (6.3)$$

где $Z_{с.з.}$ – первичное сопротивление срабатывания защиты, Ом;
 n_T – коэффициент трансформации ТТ;
 n_H – коэффициент трансформации ТН.

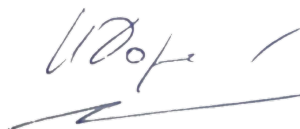
Литература

1. Правила устройства электроустановок. Шестое издание. – СПб.: Издательство ДЕКАН, 2005. – 464 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей Под редакцией Д.Л. Файбисовича. – М: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005 – 320 с. ил.
3. СТО ДИВГ-060-2017. Требования к трансформаторам тока. Методические указания. СПб: НТЦ Механотроника, 2017.
4. ГОСТ Р 58669-2019 Релейная защита. Трансформаторы тока измерительные индуктивные с замкнутым магнитопроводом для защиты. Методические указания по определению времени до насыщения при коротких замыканиях.

УДК 621.316.9:621.313.13

Ключевые слова: дифференциальная защита линии, расчёт уставок

Директор по разработкам



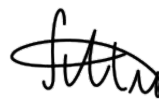
Дорофеев И.Н.

Начальник отдела продуктовой
аналитики



Чепелев В.Н.

Главный специалист



Ильинский А.С.

Начальник бюро разработки
эксплуатационной документации



Карлова И.А.

НОРМОКОНТРОЛЬ:

Нормоконтролер

Ермоленко Л.М.

