МЕХАНОТРОНИКА
Интеллектуальные устройства релейной защиты

ный директор
Ц «М анотроника»
.В. Ефремов
"30" 08 2021

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ **063-2021**

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ 6 - 35 кВ

Расчёт уставок
Методические указания

Санкт-Петербург
2021

Internal

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 ДТО 6
4.3 Расчет уставок ДЗТ 8
5 Проверка чувствительности 11
6 Примеры расчета уставок 13
6.1 Пример 1 Защита двухконцевой линии 13
Литература 21

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

Дифференциальная защита линий 6-35 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 6-35 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».

Internal

2 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте приняты следующие обозначения и сокращения:

БМРЗ – блок микропроцессорный релейной защиты;
БТН – бросок тока намагничивания;
ВН – высшее напряжение;
ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи;
ГПП – главная понизительная подстанция;
ГРУ – генераторное распределительное устройство;
ДЗЛ – дифференциальная защита линии;
ДЗТ – дифференциальная защита с торможением;
ДТО – дифференциальная токовая отсечка;
ЗРУ – закрытое распределительное устройство;
КЗ – короткое замыкание;
НН – низшее напряжение;
о. е. – относительные единицы;
ОЗЗ – защита от однофазных замыкания на землю;
ПК – полукомплект;
ПС – подстанция;
ПУЭ – правила устройства электроустановок;
РПН – регулирование напряжения под нагрузкой;
ТН – трансформатор напряжения;
ТТ – трансформатор тока.

Internal

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 два комплекта 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

$$I_{\text{диф}} = \left|\frac{\dot{I}_1 \cdot n_{T1}}{I_{\text{ном}}} + \frac{\dot{I}_2 \cdot n_{T2}}{I_{\text{ном}}}\right|, \qquad (3.1)$$

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

$$I_{\text{торм}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\left|\frac{\dot{I}_1 \cdot n_{T1}}{I_{\text{ном}}}\right| + \left|\frac{\dot{I}_2 \cdot n_{T2}}{I_{\text{ном}}}\right|\right), \qquad (3.2)$$

где $\dot{I}_1, \dot{I}_2$ – комплексные значения вторичных фазных токов сторон линии, А;

n_{T1}, n_{T2} - коэффициент трансформации ТТ сторон линии;

$I_{\text{ном}}$ - номинальный первичный ток линии, А.

3.1.3 Характеристика срабатывания ДТО и ДЗТ представлена на рисунке 3.1.

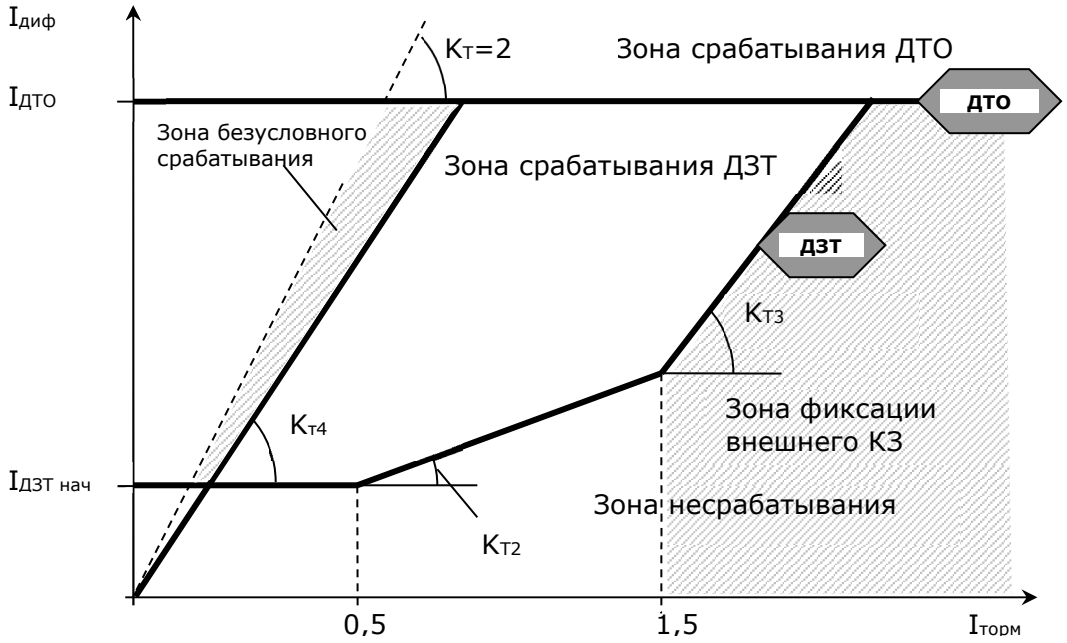


Рисунок 3.1 – Характеристика срабатывания дифференциальной защиты

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

Internal

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 Iном (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 В зону дифференциальной защиты может быть включен силовой трансформатор.

В блоке предусмотрена компенсация поворота фазы при различных комбинациях соединений обмоток силового трансформатора, а также реализовано цифровое выравнивание токов сторон.

В блоке обеспечивается блокирование защиты при бросках тока намагничивания в условиях включения трансформатора на холостой ход.

Internal

3.2 Защищаемые объекты

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

- двухконцевых линий 6-35 кВ (рисунок 3.2);
- двухконцевых линий 6-35 кВ с силовым трансформатором в зоне защиты (рисунок 3.3).



Рисунок 3.2 - Двухконцевая линия

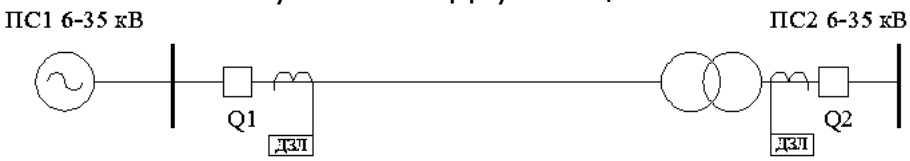


Рисунок 3.3 - Двухконцевая линия с трансформатором в зоне защиты

Internal

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 $I_{\text{пл}}$, А.

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

- максимальный рабочий ток, протекающий в месте установки комплекта;
- номинальный первичный ток ТТ.

При подключении комплекта к цепям тока за силовым трансформатором, номинальный первичный ток плеча приводят к базисной стороне трансформатора по формуле

$$I_{\text{пл}} = I_{\text{пл тр}} \cdot \frac{U_{\text{ном тр}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (4.1)$$

где $I_{\text{пл тр}}$ - номинальный первичный ток плеча (см. п. 4.1.2), А;

$U_{\text{ном тр}}$ - номинальное напряжение стороны трансформатора, на которой установлен комплект, кВ;

$U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение базисной стороны трансформатора, кВ.

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

4.1.4 При подключении комплекта к цепям тока за силовым трансформатором, номинальный первичный ток $I_{\text{ном тр}}$, А, для этого плеча пересчитывают по формуле

$$I_{\text{ном тр}} = I_{\text{ном}} \cdot \frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном тр}}}, \quad (4.2)$$

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

$U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение базисной стороны трансформатора, кВ;

$U_{\text{ном тр}}$ - номинальное напряжение стороны трансформатора, на которой установлен комплект, кВ.

4.2 Расчет уставок ДТО

4.2.1 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 силового трансформатора, включенного в зону защиты.

Internal

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

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

$$I_{\text{ДТО}} = k_{\text{отс}} \cdot \left(\varepsilon_{\text{апер}} + U_{\text{рег}} + \gamma + \gamma_{\text{синхр}}\right) \cdot I^{(3)}_{\text{КЗ макс}} / I_{\text{ном}}, \quad (4.3)$$

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

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

$U_{\text{рег}}$ - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения на трансформаторе, включенном в зону защиты. Рассчитывают по формуле (4.4);

γ = 0,03 - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч;

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

$I^{(3)}_{\text{КЗ макс}}$ – 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.

4.2.3 Относительную погрешность, обусловленную регулированием напряжения, принимают равной половине используемого диапазона регулирования и рассчитывают по формуле

$$U_{\text{рег}} = \frac{n-1}{2} \cdot \frac{\Delta U}{100}, \quad (4.4)$$

где n - количество ступеней регулирования;

ΔU - шаг регулирования напряжения, %.

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

$$\gamma_{\text{синхр}} = (n-1) \cdot \gamma_{\text{т}}, \quad (4.5)$$

где n – количество комплектов ДЗЛ;

$\gamma_{\text{т}}$ = 0,02 - относительная погрешность синхронизации комплектов.

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

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

$$\gamma_{\text{синхр}} = 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot \text{T}_{\text{ассим.}}, \quad (4.6)$$

где f_0 = 50 Гц – частота сети;

$\text{T}_{\text{ассим.}}$ – максимальная ассиметрия канала связи, с.

Internal

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

$$I_{\text{ДТО}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{ном тр}} / I_{\text{ном}}, \quad (4.7)$$

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

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

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

4.2.8 ДТО выполняют без выдержки времени.

4.3 Расчет уставок ДЗТ

4.3.1 Начальный ток срабатывания ДЗТ

4.3.1.1 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

$$I_{\text{ДЗТ нач}} = k_{\text{отс}} \cdot \left(\varepsilon_{\text{пер}} + U_{\text{рег}} + \gamma + \gamma_{\text{синхр}}\right) \cdot I_{\text{торм}} \quad (4.8)$$

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;

$U_{\text{рег}}$ - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения на трансформаторе, включенном в зону защиты. Рассчитывают по формуле (4.4);

γ - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч;

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

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

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

$$I_{\text{ДЗТ нач}} \geq \frac{I_{\text{мин}} \cdot n_{\text{т}}}{I_{\text{ном}}} \quad (4.9)$$

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

$n_{\text{т}}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока;

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

4.3.1.3 По условию отстройки от ОЗЗ на защищаемой линии уставку начального тока срабатывания ДЗТ $I_{\text{ДЗТ нач}}$, о. е. выбирают по формуле

$$I_{\text{ДЗТ нач}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot 3I_0^{(\text{озз})}}{I_{\text{ном}}}, \quad (4.10)$$

где $k_{\text{отс}}$ = 2,5 – коэффициент отстройки.

$3I_0^{(\text{озз})}$ – максимальный ток в месте ОЗЗ на защищаемой линии, А. Расчет токов ОЗЗ приведен в [2].

$I_{\text{ном}}$ - номинальный первичный ток линии, А.

Internal

4.3.1.4 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.

4.3.2 Коэффициент торможения второго участка

4.3.2.1 Коэффициент торможения второго участка $\text{К}_{\text{т2}}$ характеристики торможения ДЗТ рассчитывают по условию отстройки от небаланса в точке излома характеристики при $I_{\text{торм}} = 1{,}5$ о. е., по формуле

$$\text{К}_{\text{т2}} = \frac{I_{\text{ДЗТ2}} - I_{\text{ДЗТ нач}}}{1{,}5 - 0{,}5} \qquad (4.11)$$

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.

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

$$I_{\text{ДЗТ2}} = k_{\text{отс}} \cdot \left(\varepsilon_{\text{пер}} + U_{\text{рег}} + \gamma + \gamma_{\text{синхр}}\right) \cdot I_{\text{торм}}, \qquad (4.12)$$

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;

$U_{\text{рег}}$ - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения на трансформаторе, включенном в зону защиты;

γ - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч;

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

$I^{(3)}_{\text{КЗ макс}}$ – 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;

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

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

4.3.3 Коэффициент торможения третьего участка

4.3.3.1 Коэффициент торможения $\text{К}_{\text{т3}}$ 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

$$\text{К}_{\text{т3}} = \frac{I_{\text{ДЗТ3}} - I_{\text{ДЗТ2}}}{I^{(3)}_{\text{КЗ макс}}/I_{\text{ном}} - 1{,}5} \qquad (4.13)$$

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

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

Internal

$I^{(3)}_{\text{КЗ макс}}$ – 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.

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

$$I_{\text{ДЗТ3}} = k_{\text{отс}} \cdot \left(\varepsilon_{\text{пер}} + U_{\text{рег}} + \gamma + \gamma_{\text{синхр}}\right) \cdot I^{(3)}_{\text{КЗ макс}} / I_{\text{ном}}, \quad (4.14)$$

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];

$U_{\text{рег}}$ - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения на трансформаторе, включенном в зону защиты;

γ - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч;

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

$I^{(3)}_{\text{КЗ макс}}$ – 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.

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

$$I_{\text{ДЗТ2}} = I_{\text{ДЗТ нач}} + (1{,}5 - 0{,}5) \cdot \text{К}_{\text{т2}}, \quad (4.15)$$

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

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

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

1) увеличение значения коэффициента торможения $\text{К}_{\text{т3}}$;

2) применение блокировки по второй гармонике;

3) применение функции фиксации внешнего КЗ в начальный момент с последующей блокировкой ДЗТ.

Минимальные рекомендуемые значения коэффициента торможения $\text{К}_{\text{т3}}$ в зависимости от способа отстройки приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Минимальные значения уставки $\text{К}_{\text{т3}}$

Наименование	Обозначение	Условие	Минимальное рекомендуемое значение
Коэффициент торможения третьего участка	$\text{К}_{\text{т3}}$	ДЗТ без контроля дополнительных условий	1,6
		Введена блокировка по второй гармонике	0,3
		Введена фиксация внешнего КЗ в начальный момент	1,0

Internal

4.3.3.5 Значение уставки коэффициента торможения третьего участка $К_{т3}$, принимают равным наибольшему из рассчитанных значений, но не менее $К_{т2}$.

4.3.3.6 ДЗТ выполняют без выдержки времени.

4.3.4 Параметры блокировок

4.3.4.1 Отстройка ДЗТ от БТН силового трансформатора достигается применением блокировки по второй гармонике. Уставку блокировки по второй гармонике $К_{2г}$ рекомендуется устанавливать 0,15. В процессе эксплуатации значение уставки $К_{2г}$ может быть уточнено.

4.3.4.3 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 [4]. Отсутствие излишних срабатываний дифференциальной защиты обеспечивается при выполнении следующих условий

$$T_{\text{нас}} \geq 0{,}02\ c, \text{ если } 1{,}5 \cdot I_{\text{ном}} \leq I_{\text{КЗ}} < 3 \cdot I_{\text{ном}} \quad (4.16)$$

$$T_{\text{нас}} \geq 0{,}01\ c, \text{ если } I_{\text{КЗ}} \geq 3 \cdot I_{\text{ном}} \quad (4.17)$$

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.

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

$$T_{\text{блок}} = 3 \cdot T_{\text{а}} \quad (4.18)$$

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

4.3.4.5 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, равном $I_{\text{ном}}$, о.е.;

Internal

$I_{ном}$ - номинальный первичный ток линии, А.

5.2 Ток срабатывания ДЗТ при токе торможения, равном $I_{ном}$ рассчитывают по формуле

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

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

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

5.3 Коэффициент чувствительности защиты должен быть более 2 [1].

Internal

6 Примеры расчета уставок

6.1 Пример 1 Защита двухконцевой линии

6.1.1 Пример расчета уставок приведен для ДЗЛ кабельных линий, связывающих повышающую подстанцию ПС 10/35 кВ и ГРУ. Схема (рисунок 6.1) предназначена для организации электроснабжения объектов на нефтяном месторождении.

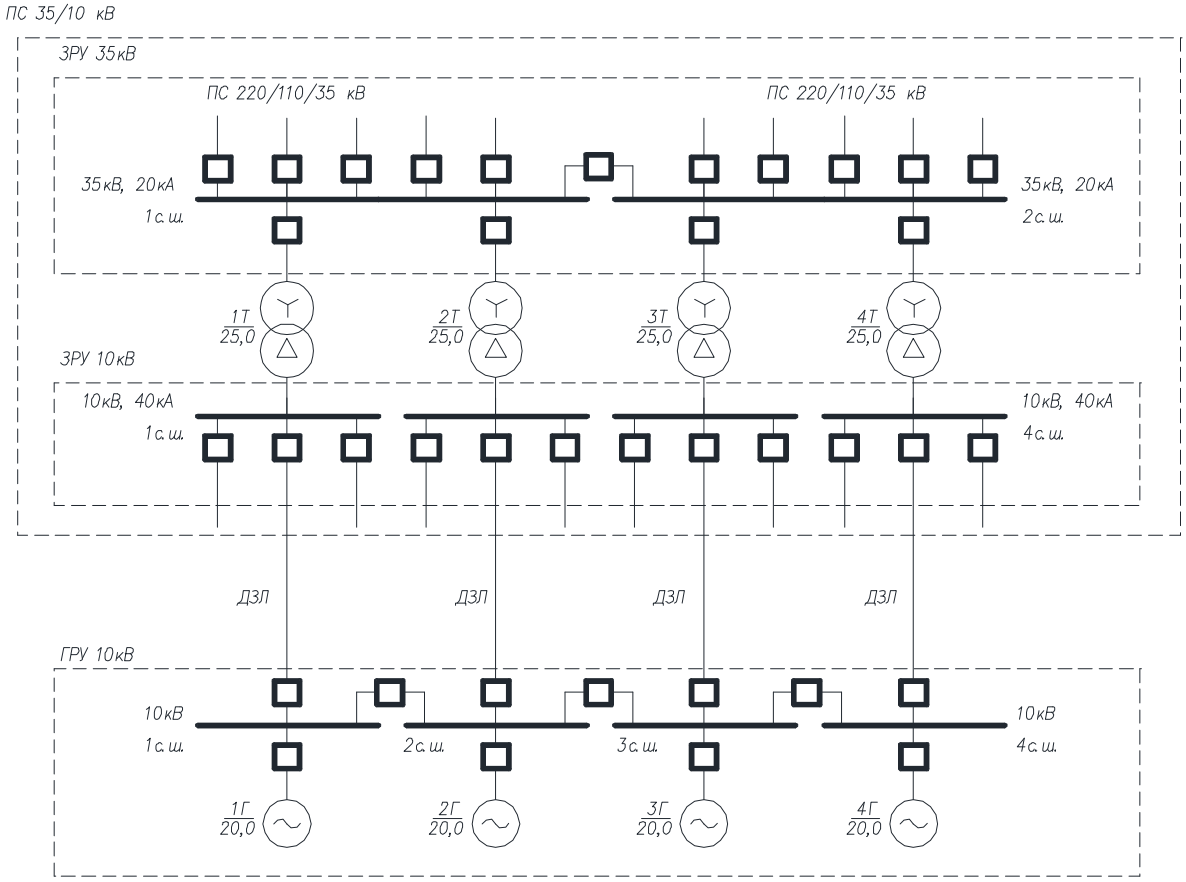


Рисунок 6.1– Первичная схема

Сеть 10 кВ:
- $U_{c\,\text{ном}}$ =10,5 кВ - среднее номинальное напряжение;
- $I_{\text{к макс}}$= 40 кА – ток КЗ на шинах ЗРУ в максимальном режиме;
- $3I_0^{(\text{озз})}$= 30 А – максимальный ток ОЗЗ.

Параметры линий:
- $I_{\text{ном}}$= 1100 А – номинальный ток линии;
- L = 2 км – длина линии.

Блоки релейной защиты БМРЗ-ДЗЛ1-51. Связь между комплектами осуществляется по ВОЛС.

Трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10:
- $I_{\text{ТТ 1ном}}$=2500 А – номинальный первичный ток ТТ;
- $I_{\text{ТТ 2ном}}$= 5 А – номинальный вторичный ток ТТ;
- $n_{\text{Т}}$ = 500 – номинальный коэффициент трансформации ТТ.

Internal

6.1.2 Номинальный первичный ток защиты $I_{\text{ном}}$, А, принять равным максимальному рабочему току, протекающему в месте установки комплекта, 1100 А.

6.1.3 Ток срабатывания ДТО рассчитать по условию отстройки от расчётного максимального тока небаланса при внешних КЗ по формуле (4.3)

$$I_{\text{ДТО}} = k_{\text{отс}} \cdot \left(\varepsilon_{\text{апер}} + U_{\text{рег}} + \gamma + \gamma_{\text{синхр}}\right) \cdot \frac{I^{(3)}_{\text{КЗ макс}}}{I_{\text{ном}}} = 1{,}2 \cdot (0{,}7 + 0 + 0{,}03 + 0{,}02) \cdot \frac{40000}{1100} \approx 33 \text{ о. е.}$$

6.1.4 Относительную погрешность синхронизации комплектов рассчитать по формуле (4.5)

$$\gamma_{\text{синхр}} = (n - 1) \cdot \gamma_{\text{т}} = (2 - 1) \cdot 0{,}02 = 0{,}02.$$

6.1.5 Уставку начального тока срабатывания ДЗТ $I_{\text{ДЗТ нач}}$, о. е., рассчитать по условию отстройки от небаланса в точке излома характеристики торможения при $I_{\text{торм}} = 0{,}5$ о. е., по формуле (4.8)

$$I_{\text{ДЗТ нач}} = k_{\text{отс}} \cdot \left(\varepsilon_{\text{пер}} + U_{\text{рег}} + \gamma + \gamma_{\text{синхр}}\right) \cdot I_{\text{торм}} = 1{,}5 \cdot (0{,}1 + 0 + 0{,}03 + 0{,}02) \cdot 0{,}5 = 0{,}11.$$

6.1.6 Проверить выполнение условия (4.9)

$$I_{\text{ДЗТ нач}} = \frac{I_{\text{мин}} \cdot n_{\text{т}}}{I_{\text{ном}}} = \frac{0{,}25 \cdot 500}{1100} = 0{,}11 \text{ о. е.}$$

6.1.7 Выполнить проверку выполнения условия отстройки от ОЗЗ по формуле (4.10)

$$I_{\text{ДЗТ нач}} \geq \frac{k_{\text{отс}} \cdot 3I_0^{(\text{озз})}}{I_{\text{ном}}} = \frac{2{,}5 \cdot 30}{1100} = 0{,}07 \text{ о. е.}$$

6.1.8 Уставку начального тока срабатывания ДЗТ $I_{\text{ДЗТ нач}}$ принять равной 0,2, согласно п. 4.3.1.4.

6.1.9 Ток срабатывания ДЗТ $I_{\text{ДЗТ2}}$, о.е., соответствующий току торможения $I_{\text{торм}} = 1{,}5$ о. е., вычислить по формуле (4.10)

$$I_{\text{ДЗТ2}} = k_{\text{отс}} \cdot \left(\varepsilon_{\text{пер}} + U_{\text{рег}} + \gamma + \gamma_{\text{синхр}}\right) \cdot I_{\text{торм}} = 1{,}5 \cdot (0{,}1 + 0 + 0{,}03 + 0{,}02) \cdot 1{,}5 = 0{,}34.$$

6.1.10 Коэффициент торможения второго участка $\text{К}_{\text{т2}}$ характеристики торможения ДЗТ рассчитать по условию отстройки от небаланса в точке излома характеристики при $I_{\text{торм}} = 1{,}5$ о. е., по формуле (4.11)

$$\text{К}_{\text{т2}} = \frac{I_{\text{ДЗТ2}} - I_{\text{ДЗТ нач}}}{1{,}5 - 0{,}5} = \frac{0{,}34 - 0{,}2}{1{,}5 - 0{,}5} = 0{,}14.$$

6.1.11 Коэффициент торможения второго участка ДЗТ $\text{К}_{\text{т2}}$ принять равным 0,2, согласно п. 4.3.2.3.

6.1.12 Ток срабатывания ДЗТ $I_{\text{ДЗТ3}}$, о.е., соответствующий максимальному току внешнего КЗ $I^{(3)}_{\text{КЗ макс}}$, вычислить по формуле (4.14)

Internal

$$I_{\text{ДЗТ3}} = k_{\text{отс}} \cdot \left(\varepsilon_{\text{пер}} + U_{\text{рег}} + \gamma + \gamma_{\text{синхр}}\right) \cdot \frac{I^{(3)}_{\text{КЗ макс}}}{I_{\text{ном}}} = 1{,}5 \cdot (0{,}1 + 0 + 0{,}03 + 0{,}02) \cdot 40\,000\,/1100 = 8{,}2.$$

6.1.13 Ток срабатывания ДЗТ $I_{\text{ДЗТ2}}$, о.е., соответствующий току торможения, равному 1,5 о.е., вычислить по формуле (4.15)

$$I_{\text{ДЗТ2}} = I_{\text{ДЗТ нач}} + (1{,}5 - 0{,}5) \cdot \text{К}_{\text{т2}} = 0{,}2 + (1{,}5 - 0{,}5) \cdot 0{,}2 = 0{,}4.$$

6.1.14 Коэффициент торможения $\text{К}_{\text{т3}}$ третьего участка характеристики торможения ДЗТ рассчитать по условию отстройки от погрешности ТТ в установившемся режиме КЗ по формуле (4.13)

$$\text{К}_{\text{т3}} = \frac{\left(I_{\text{ДЗТ3}} - I_{\text{ДЗТ2}}\right)}{I^{(3)}_{\text{КЗ макс}}/I_{\text{ном}} - 1{,}5} = \frac{(8{,}2 - 0{,}4)}{40000/1100 - 1{,}5} = 0{,}22.$$

6.1.15 Для отстройки от погрешности ТТ в переходном процессе при насыщении ТТ апериодической составляющей применяют блокировку по второй гармонике и функцию фиксации внешнего КЗ.

Коэффициент торможения третьего участка ДЗТ $\text{К}_{\text{т3}}$ принять равным 0,3, согласно п. 4.3.3.4.

6.1.16 Уставку блокировки по второй гармонике $\text{К}_{2\text{г}}$ установить равной 0,15, согласно п. 4.3.4.1.

6.1.17 Выдержку времени блокировки ДЗТ при фиксации внешнего КЗ рассчитать по формуле (4.18)

$$T_{\text{блок}} = 3 \cdot T_{\text{а}} = 3 \cdot 0{,}1 = 0{,}3 \text{ с}.$$

Постоянная времени внешнего КЗ принята равной постоянной времени сети со стороны генераторов.

6.1.18 Коэффициент торможения зоны безусловного срабатывания ДЗТ $\text{К}_{\text{т4}}$ принять равным 1,8, согласно п. 4.3.4.5.

6.1.19 Уставки, вводимые в блок БМРЗ-ДЗЛ1-51, приведены в таблице 6.1.

Internal

Таблица 6.1 – Уставки для ввода в блок БМРЗ-ДЗЛ1-51

Обозначение в блоке	Комментарий	Обозначение в расчете	Значение уставки
Коэффициенты трансформации			
Ктр IA, Ктр IB, Ктр IC	Коэффициенты трансформации фазных ТТ	-	500
Ктр UAB, Ктр UBC, Ктр UBC2	Коэффициенты трансформации трансформаторов напряжения	-	100
Дифференциальная защита линии			
ДЗЛ Iном	Номинальный первичный ток линии, А	$I_{\text{ном}}$	1100
S910	Ввод ДТО	-	Введен
ДТО РТ	Ток срабатывания ДТО, Iном	$I_{\text{ДТО}}$	33
S920	Ввод ДЗТ	-	Введен
ДЗТ нач.	Начальный ток срабатывания ДЗТ (Кв от 0,8 до 0,9), Iном	$I_{\text{ДЗТ нач}}$	0,2
ДЗТ Кт2	Коэффициент торможения 2-го участка ДЗТ	$К_{\text{т2}}$	0,2
ДЗТ Кт3	Коэффициент торможения 3-го участка ДЗТ	$К_{\text{т3}}$	0,3
S926	Ввод блокировки ДЗТ по второй гармонике дифференциального тока	-	Введен
ДЗТ 2г К	Коэффициент блокировки ДЗТ по второй гармонике	$К_{\text{2г}}$	0,15
S922	Ввод блокировки при фиксации внешнего КЗ	-	Введен
ДЗТ Кт4	Коэффициент торможения зоны безусловного срабатывания ДЗТ	$К_{\text{т4}}$	1,8
ДЗТ Тблок.	Длительность блокировки при фиксации внешнего КЗ, с	$T_{\text{блок}}$	0,3

Листы 17 – 20 аннулированы

Internal

Литература

1. Правила устройства электроустановок. Шестое издание. – СПб.: Издательство ДЕКАН, 2005. – 464 с.

2. СТО ДИВГ-058-2017. Расчет токов коротких замыканий и замыканий на землю в распределительных сетях. Методические указания. СПб: НТЦ Механотроника, 2017.

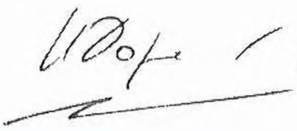
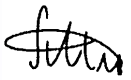
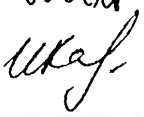
3. СТО ДИВГ-060-2017. Требования к трансформаторам тока. Методические указания. СПб: НТЦ Механотроника, 2017.

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.

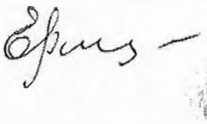
Internal

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.

Internal

Лист регистрации изменений									
Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в документе	Номер документа	Входящий номер сопроводительного документа и дата	Подпись	Дата
	измененных	замененных	новых	аннулированных					
1		7, 14, 15, 17, 20				ДИВГ.112-24			25.04.2024
2		III, 3, 5, 14-16		17-20		ДИВГ.322-26			

Internal