Качество Инновации Технологии

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
КОМПЛЕКСНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Выбор параметров срабатывания дифференциальной защиты трансформатора в устройствах КИТ-Р

Методические указания

Содержание Лист

1 Расчет параметров срабатывания 5
1.1 Общие сведения 5
1.2 Проверка ТТ 5
1.3 Дифференциальная защита с торможением 6
1.4 Дифференциальная токовая отсечка 8
1.5 Блокировка по второй гармонике 9
2 Параметрирование устройства 10
2.1 Устройство КИТ-Р-А3-ДЗТ-01 11
3 Примеры расчета параметров срабатывания 13
Список литературы 18

Настоящие методические указания (далее – МУ) предназначены для ознакомления с методами расчета дифференциальной защиты трансформатора, выполненной на базе устройств микропроцессорной релейной защиты и автоматики КИТ-Р ТРБН.656122.001. Для иллюстрации методов расчета защиты даны примеры выбора параметров защиты и проверки чувствительности.

МУ носят рекомендательный характер.

Перед расчетом параметров срабатывания необходимо ознакомиться с руководством по эксплуатации на устройство микропроцессорное релейной защиты и автоматики с функциями дифференциальной защиты трансформатора.

На последней странице МУ располагается информация о регистрации изменений, где указаны история изменений настоящих МУ.

В тексте настоящих МУ применяются следующие сокращения и обозначения:

ВН – высокое напряжение;

ДЗТ – дифференциальная защита трансформатора;

ДТО – дифференциальная токовая отсечка

КЗ – короткое замыкание;

КЦТ – контроль цепей тока;

МУ – местное управление;

НН – низкое напряжение;

ПБ – перекрестная блокировка;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

РПН – регулирование под нагрузкой;

ТСН – трансформатор собственных нужд;

ТТ – трансформатор тока.

1 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ

1.1 Общие сведения

Настоящие МУ соответствуют требованиям и рекомендациям, изложенным в ПУЭ [1].

В МУ приведена методика выбора параметров срабатывания дифференциальной защиты трансформаторов с высшим напряжением 110, 35 кВ.

Для иллюстрации методов расчета защиты даны примеры выбора параметров защиты и проверки чувствительности.

1.2 Проверка ТТ

1.2.1 Проверка ТТ на допустимую погрешность выполняется в соответствие с методическими указаниями «МУ Требования к трансформаторам тока». В настоящих МУ выполняется проверка ТТ по условию выравнивания вторичных токов (таблица 1.1).

1.2.2 В номинальном режиме работы силового трансформатора вторичные токи ТТ должны быть в заданном диапазоне от 0,75 до 5,00 А для обеспечения точной работы защиты.

Таблица 1.1 – Проверка ТТ

Параметр	Расчетное условие	Расчетное выражение
Вторичный ток ТТ стороны ВН в номинальном режиме		
Номинальный первичный ток стороны ВН трансформатора, А		$I_{ном.ВН}=\frac{S_т}{\sqrt{3}\cdot U_{ВН}}$ где $S_т$ - мощность силового трансформатора, кВА; $U_{ВН}$ - напряжение обмотки ВН, кВ.
Коэффициент трансформации ТТ стороны ВН		$n_{Т\ ВН}=\frac{I_{1\ ном\ ТТ\ ВН}}{I_{2\ ном\ ТТ\ ВН}}$ где $I_{1\ ном\ ТТ\ ВН}$ - номинальный первичный ток ТТ стороны ВН, А; $I_{2\ ном\ ТТ\ ВН}$ - номинальный вторичный ток ТТ стороны ВН, А.
Вторичный ток ТТ стороны ВН в номинальном режиме, А		$I_{2\ ном.ВН}=\frac{I_{ном.ВН}}{n_{Т\ ВН}}$ где $I_{ном.ВН}$ - номинальный первичный ток стороны ВН трансформатора, А; $n_{Т\ ВН}$ – коэффициент трансформации ТТ стороны ВН.
	Проверка ТТ по условию выравнивания вторичных токов	$0{,}75\ А < I_{2\ ном.ВН} < 5{,}00\ А$ где $I_{2\ ном.ВН}$ - вторичный ток ТТ стороны ВН в номинальном режиме, А.
Вторичный ток ТТ стороны НН в номинальном режиме		
Номинальный первичный ток стороны ВН трансформатора, А		$I_{ном.НН}=\frac{S_т}{\sqrt{3}\cdot U_{НН}}$ где $S_т$ - мощность силового трансформатора, кВА; $U_{НН}$ - напряжение обмотки НН, кВ.
Коэффициент трансформации ТТ стороны НН		$n_{Т\ НН}=\frac{I_{1\ ном\ ТТ\ НН}}{I_{2\ ном\ ТТ\ НН}}$ где $I_{1\ ном\ ТТ\ НН}$ - номинальный первичный ток ТТ стороны НН, А; $I_{2\ ном\ ТТ\ НН}$ - номинальный вторичный ток ТТ стороны НН, А.
Вторичный ток ТТ стороны НН в номинальном режиме, А		$I_{2\ ном.НН}=\frac{I_{ном.НН}}{n_{Т\ НН}}$ где $I_{ном.НН}$ - номинальный первичный ток стороны НН трансформатора, А; $n_{Т\ НН}$ – коэффициент трансформации ТТ стороны НН.
	Проверка ТТ по условию выравнивания вторичных токов	$0{,}75\ А < I_{2\ ном.НН} < 5{,}00\ А$ где $I_{2\ ном.НН}$ - вторичный ток ТТ стороны НН в номинальном режиме, А.

1.3 Дифференциальная защита с торможением

1.3.1 ДЗТ является основной защитой трансформатора от внутренних повреждений.

1.3.2 В ДЗТ используется торможение от сквозного тока, протекающего через защищаемый объект. Уставка срабатывания ДЗТ повышается при увеличении сквозного тока. Характеристика срабатывания ДЗТ отстраивается от тока небаланса в установившемся нагрузочном режиме и в режиме установившегося КЗ. Характеристика срабатывания ДЗТ приведена на рисунке 1.1.

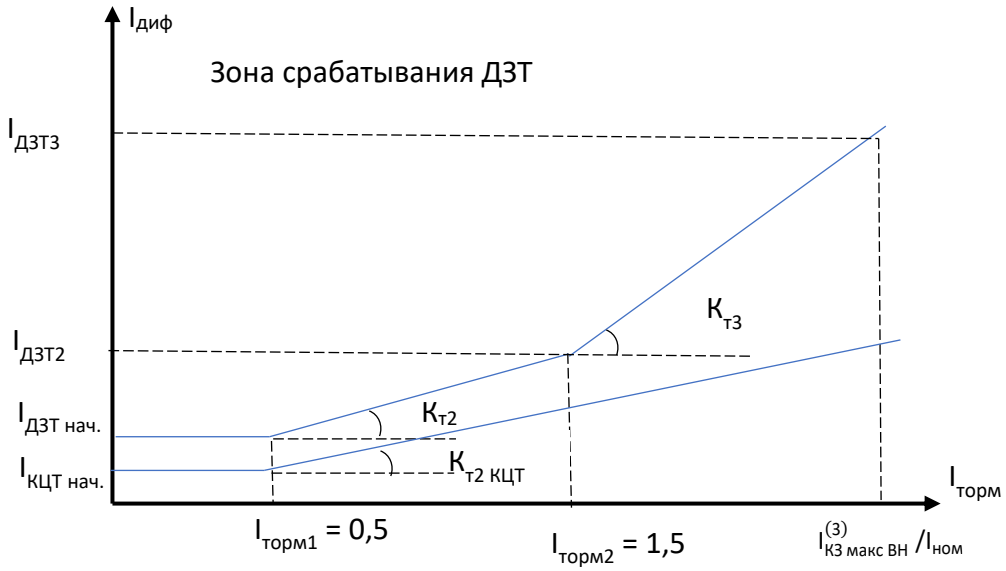


Рисунок 1.1 – Характеристика срабатывания ДЗТ

1.3.3 Начальный ток срабатывания ДЗТ выбирается по условию отстройки от небаланса или может быть задан в диапазоне от 0,5 до 1,5 для обеспечения не срабатывания при обрыве цепей тока. В последнем случае необходимо вводить сигнализацию небаланса (см. п. 1.6).

1.3.4 При наличии ТСН в зоне дифференциальной защиты необходимо отстроиться от максимального тока КЗ за ТСН.

1.3.5 Благодаря наличию блокировки по второй гармонике дифференциального тока ДЗТ отстраивается от погрешности ТТ в установившемся режиме КЗ, что значительно увеличивает чувствительность защиты.

1.3.6 Расчет уставок ДЗТ приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Расчет параметров срабатывания ДЗТ

Параметр	**Расчетное условие**	**Расчетное выражение**
Относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения		$U_{рег}=n\cdot\frac{\Delta U}{100\%}$ где n - количество ступеней регулирования в одну сторону; ΔU - шаг регулирования напряжения, %
Значение тока небаланса при КЗ за ТСН, о.е.		$I_{диф\ ТСН}=\frac{I^{(3)}_{КЗ\ макс\ ТСН}}{I_{ном.НН}}$ где $I^{(3)}_{КЗ\ макс\ ТСН}$ - максимальное значение тока трехфазного КЗ за ТСН, приведенное к стороне НН силового трансформатора, А; $I_{ном.НН}$ - номинальный первичный ток стороны НН трансформатора, А

Продолжение таблицы 1.2

Параметр	Расчетное условие	Расчетное выражение
Начальный ток срабатывания ДЗТ, о.е.	Отстройка от тока небаланса при токе $I_{торм1}$ = 0,5 $I_{ном.ВН}$	$I_{ДЗТ\ нач}=k_{отс}\cdot(\varepsilon_{пер}+U_{рег}+\gamma)\cdot I_{торм1}+k_{отс\ ТСН}\cdot I_{диф\ ТСН}$ где $k_{отс}$ = 1,5 - коэффициент отстройки; $\varepsilon_{пер}$= 0,1 - относительная полная погрешность ТТ в установившемся режиме КЗ; $U_{рег}$ - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения; γ=0,03 - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч; $I_{торм1}$= 0,5 – значение тока торможения, о.е.; $k_{отс\ ТСН}$ = 1,2 - коэффициент отстройки от КЗ за ТСН; $I_{диф\ ТСН}$ - значение тока небаланса при КЗ за ТСН, о.е.
	Значение должно быть не менее $I_{ДЗТ\ мин}$	$I_{ДЗТ\ нач}=\max(I_{ДЗТ\ мин};I_{ДЗТ\ нач})$ где $I_{ДЗТ\ мин}$ – минимальное значение тока срабатывания ДЗТ, о.е.; $I_{ДЗТ\ нач}$ – начальный ток срабатывания ДЗТ, о.е.;
Ток срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ2}$, о.е.	Отстройка от тока небаланса при токе $I_{торм2}$ = 1,5 $I_{ном.ВН}$	$I_{ДЗТ2}=k_{отс}\cdot(\varepsilon_{пер}+U_{рег}+\gamma)\cdot I_{торм2}$ где $k_{отс}$=1,5 - коэффициент отстройки; $\varepsilon_{пер}$= 0,1 - относительная полная погрешность ТТ в установившемся режиме КЗ; $U_{рег}$ - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения; γ=0,03 - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч; $I_{торм2}$= 1,5 – значение тока торможения, о.е.
Коэффициент торможения второго участка		$К_{т2}=\frac{I_{ДЗТ2}-I_{ДЗТ\ нач}}{I_{торм2}-I_{торм1}}$ где $I_{ДЗТ2}$ - ток срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ2}$, о.е.; $I_{ДЗТ\ нач}$ – начальный ток срабатывания ДЗТ, о.е.; $I_{торм2}$ = 1,5 – значение тока торможения, о.е.; $I_{торм1}$ =0,5 – значение тока торможения, о.е.
Ток срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ3}$, о.е.	Отстройка от тока небаланса при максимальном токе внешнего КЗ	$I_{ДЗТ3}=k_{отс}\cdot(\varepsilon_{пер}+U_{рег}+\gamma)\cdot I^{(3)}_{КЗ\ макс}/I_{ном\ НН}$ где $k_{отс}$=1,5 - коэффициент отстройки; $\varepsilon_{пер}$= 0,1 - относительная полная погрешность ТТ в установившемся режиме КЗ; $U_{рег}$ - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения; γ=0,03 - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч; $I^{(3)}_{КЗ\ макс}$ - максимальное значение тока внешнего трехфазного КЗ на стороне НН; $I_{ном\ НН}$ - номинальный первичный ток стороны НН трансформатора, А.
Коэффициент торможения третьего участка		$К_{т3}=\frac{I_{ДЗТ3}-I_{ДЗТ2}}{I^{(3)}_{КЗ\ макс}/I_{ном\ НН}-I_{торм2}}$ где $I_{ДЗТ3}$ – ток срабатывания $I_{ДЗТ3}$, о.е.; $I_{ДЗТ2}$ – ток срабатывания $I_{ДЗТ2}$, о.е.; $I^{(3)}_{КЗ\ макс}$ - максимальное значение тока внешнего трехфазного КЗ на стороне НН; $I_{ном\ НН}$ - номинальный первичный ток стороны НН трансформатора, А; $I_{торм2}$ = 1,5 – значение тока торможения, о.е.

Продолжение таблицы 1.2

Параметр	Расчетное условие	Расчетное выражение
Коэффициент чувствительности ДЗТ	Коэффициент чувствительности должен быть больше 2	$К_ч = \frac{I^{(2)}_{КЗ\ мин}}{I_{ДЗТ\ нач} \cdot I_{ном.НН}}$ $I^{(2)}_{КЗ\ мин}$ - минимальное значение тока внутреннего двухфазного КЗ на стороне НН; $I_{ДЗТ\ нач}$ – начальный ток срабатывания ДЗТ, о.е.; $I_{ном.НН}$ - номинальный первичный ток стороны НН трансформатора, А

1.4 Дифференциальная токовая отсечка

1.4.1 ДТО является вспомогательным элементов ДЗТ и срабатывает без дополнительных блокировок при превышении дифференциальным током уставки срабатывания.

1.4.2 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.

1.4.3 Расчет уставок ДТО приведен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Расчет параметров срабатывания ДТО

Параметр	Расчетное условие	Расчетное выражение
Ток срабатывания ДТО, о.е.	Отстройка от броска тока намагничивания силового трансформатора	$I_{ДТО} = 5$
	Отстройка от тока небаланса при максимальном токе внешнего КЗ	$I_{ДТО}=k_{отс} \cdot (\varepsilon_{апер}+U_{рег}+\gamma) \cdot I^{(3)}_{КЗ\ макс} / I_{ном\ НН}$ где $k_{отс}$= 1,2 - коэффициент отстройки; $\varepsilon_{апер}$= 0,7 – относительная полная погрешность ТТ в переходном режиме; $U_{рег}$ - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения; γ=0,03 - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч; $I^{(3)}_{КЗ\ макс}$ - максимальное значение тока внешнего трехфазного КЗ на стороне НН; $I_{ном\ ВН}$ - номинальный первичный ток стороны НН трансформатора, А;
	Выбор максимального из полученных значений	$I_{ДТО}$

1.5 Блокировка по второй гармонике

1.5.1 Блокировка по второй гармонике дифференциального тока предназначена:

- для предотвращения ложного срабатывания ДЗТ при бросках тока намагничивания в условиях включения трансформатора на холостой ход.

- для предотвращения ложного срабатывания ДЗТ при больших погрешностях ТТ, возникающих при насыщении ТТ апериодической составляющей тока КЗ.

1.5.2 Перекрестная блокировка применяется на силовых трансформаторах со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник». На указанном типе трансформаторов бросок тока намагничивания по одной из фаз характеризуется малым содержанием второй гармоники и для предотвращения отказа блокировки по второй гармонике необходимо применение перекрестной блокировки.

На силовых трансформаторах со схемой соединения обмоток «звезда-звезда» и «треугольник-треугольник» перекрестную блокировку необходимо вывести.

1.5.3 Расчет уставок блокировки по второй гармонике приведен в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Блокировка по второй гармонике

Параметр	**Расчетное условие**	**Расчетное выражение**
Ток срабатывания блокировки по второй гармонике, о.е.		$I_{2г.}$=0,15
Перекрестная блокировка	Схема соединения	

1.6 Контроль цепей тока

1.6.1 КЦТ предназначена для предотвращения срабатывания ДЗТ при обрыве цепей тока. В устройствах КИТ-Р реализованы следующие алгоритмы КЦТ:

- быстродействующий алгоритм блокирования ДЗТ при обрыве токовых цепей. Алгоритм анализирует траектория точки в плоскости Iдиф(Iторм) и блокирует ДЗТ в случае обрыва цепей тока. Алгоритм функционирует при токах от 0,7 $I_{ДЗТ\ нач}$. Алгоритм не требует расчета уставок;
- сигнализация небаланса при неисправности цепей тока. При использовании данного алгоритма минимальное значение тока срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ\ мин}$ должно быть задано больше, чем предполагаемое значение тока нагрузочного режима силового трансформатора. В этом случае при обрыве цепей тока срабатывания ДЗТ не произойдет, с выдержкой времени сработает сигнализация.

1.6.2 Расчет уставок КЦТ приведен в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Расчет параметров срабатывания КЦТ

Параметр	**Расчетное условие**	**Расчетное выражение**
Начальный ток срабатывания КЦТ, о.е.	Отстройка от тока небаланса при токе 1,5 $I_{ном}$	$I_{КЦТ\ нач}=k_{отс}\cdot(\varepsilon_{пер}+U_{рег}+\gamma)\cdot I_{торм}$ где $k_{отс}$ = 1,2 - коэффициент отстройки; $\varepsilon_{пер}$= 0,03 - относительная полная погрешность ТТ в нормальном режиме; $U_{рег}$ - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения; γ=0,03 - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч; $I_{торм}$= 0,5 – значение тока торможения, о.е.
	Значение должно быть не менее 0,1	$I_{ДЗТ\ нач}=\max(0,1;I_{КЦТ\ нач})$
Ток срабатывания КЦТ $I_{КЦТ2}$, о.е.	Отстройка от тока небаланса при токе $I_{торм2}$ = 1,5 $I_{ном.ВН}$	$I_{КЦТ2}=k_{отс}\cdot(\varepsilon_{пер}+U_{рег}+\gamma)\cdot I_{торм2}$ где $k_{отс}$=1,5 - коэффициент отстройки; $\varepsilon_{пер}$= 0,1 - относительная полная погрешность ТТ в нормальном режиме; $U_{рег}$ - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения; γ=0,03 - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч; $I_{торм2}$= 1,5 – значение тока торможения, о.е.
Коэффициент торможения второго участка		$К_{т2\ КЦТ}=\frac{I_{КЦТ2}-I_{КЦТ\ нач}}{I_{торм2}-I_{торм1}}$ где $I_{ДЗТ2}$ - ток срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ2}$, о.е.; $I_{ДЗТ\ нач}$ – начальный ток срабатывания ДЗТ, о.е.; $I_{торм2}$ = 1,5 – значение тока торможения, о.е.; $I_{торм1}$ =0,5 – значение тока торможения, о.е.
Выдержка времени срабатывания КЦТ	Отстройка от броска тока намагничивания и внешних КЗ	$T_{КЦТ}$=5 с

2 ПАРАМЕТРИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА

2.1 Устройство КИТ-Р-А3-ДЗТ-01

2.1.1 В таблице 2.1 приводится соответствие рассчитанных параметров и уставок в устройстве КИТ-Р-А3-ДЗТ-01.

Таблица 2.1 – Уставки для ввода в устройство КИТ-Р-А3-ДЗТ-01

Наименование уставки	Диапазон изменения	Значение по умолчанию	Комментарий	Значение для группы уставок
Коэффициенты трансформации				
K IA ВН, K IB ВН, K IC ВН	1 – 3000	1	Коэффициент трансформации ТТ стороны ВН	$n_{Т\ ВН}$
K IA НН, K IB НН, K IC НН	1 – 3000	1	Коэффициент трансформации ТТ стороны НН	$n_{Т\ НН}$
Трансформатор				
Sном	1,0 – 63,0	10,0	Номинальная полная мощность трансформатора, МВА	$S_т$
Uном ВН	6,00 – 40,00	35,00	Номинальное первичное значения напряжение стороны ВН, кВ	$U_{ВН}$
Uном НН	1,00 – 40,00	10,50	Номинальное первичное значения напряжение стороны НН, кВ	$U_{НН}$
Схема ВН – Y	☐ – ☑	☑	Схема соединения стороны ВН – звезда	☐
Схема НН – Y	☐ – ☑	☐	Схема соединения стороны НН – звезда	☐
Группа	0; 1; 11	11	Группа соединения	
ДЗТ				
Ввод ДЗТ	☐ – ☑	☐	Ввод ДЗТ	☐
ДЗТ Iдиф.нач.	0,20 – 1,50	0,30	Уставка по начальному току срабатывания ДЗТ, ном	$I_{ДЗТ\ нач}$
ДЗТ Кторм2	0,00 – 0,50	0,20	Уставка по коэффициенту торможения второго участка характеристики торможения ДЗТ	$К_{т2}$
ДЗТ Кторм3	0,30 – 1,20	0,50	Уставка по коэффициенту торможения третьего участка характеристики торможения ДЗТ	$К_{т3}$
ДЗТ 2г>	0,10 – 0,30	0,15	Уставка блокировки по второй гармонике ДЗТ	$I_{2г.}$
Вывод ПБ ДЗТ	☐ – ☑	☐	Вывод перекрестной блокировки ДЗТ	☐
ДТО				
Ввод ДТО	☐ – ☑	☐	Ввод ДТО	☐
ДТО I>	3,00 – 30,00	10,00	Уставка по току срабатывания ДТО, ном	$I_{ДТО}$
КЦТ				
Ввод КЦТ	☐ – ☑	☐	Ввод быстродействующего КЦТ на блокирование ДЗТ	☐
Ввод КЦТ Iдиф	☐ – ☑	☐	Ввод КЦТ по току небаланса дифференциальной защиты на предупредительную сигнализацию	☐
КЦТ Iдиф.нач.	0,10 – 0,50	0,20	Уставка по начальному току срабатывания КЦТ, ном	$I_{КЦТ\ нач}$

Наименование уставки	Диапазон изменения	Значение по умолчанию	Комментарий	Значение для группы уставок
КЦТ Кторм2	0,00 – 0,50	0,20	Уставка по коэффициенту торможения КЦТ	$К_{т2\ кцт}$
КЦТ Тср	1,00 – 10,00	5,00	Уставка по времени срабатывания КЦТ, с	$Т_{кцт}$

3 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ

3.1.1 В таблице 3.1 приведены исходные данные для расчета дифференциальной защиты. Расчет параметров срабатывания приведен в таблице 3.2. Параметры срабатывания для ввода в устройство в таблице 3.3.

Таблица 3.1 – Исходные данные

Параметр	Обозначение	Значение
Трансформатор		
Мощность силового трансформатора, кВА	$S_т$	6300
Напряжение обмотки ВН, кВ	$U_{ВН}$	35
Напряжение обмотки НН, кВ	$U_{НН}$	6,3
Наличие РПН		☑
Количество ступеней регулирования	n	9
Шаг регулирования напряжения, %	ΔU	1,78
Схема соединения стороны ВН		Звезда
Схема соединения стороны НН		Треугольник
Группа соединения		11
ТТ стороны ВН		
Номинальный первичный ток ТТ стороны ВН, А	$I_{1\ ном\ ТТ\ ВН}$	300
Номинальный вторичный ток ТТ стороны ВН, А	$I_{2\ ном\ ТТ\ ВН}$	5
ТТ стороны НН		
Номинальный первичный ток ТТ стороны НН, А	$I_{1\ ном\ ТТ\ НН}$	1500
Номинальный вторичный ток ТТ стороны НН, А	$I_{2\ ном\ ТТ\ НН}$	5
Сборные шины стороны НН		
Максимальное значение тока внешнего трехфазного КЗ на стороне НН, А	$I^{(3)}_{КЗ\ макс}$	3211
Минимальное значение тока внутреннего двухфазного КЗ на стороне НН, А	$I^{(2)}_{КЗ\ мин}$	2125
Контроль цепей тока		
Ввод предупредительной сигнализации по току небаланса дифференциальной защиты		☐
Минимальное значение тока срабатывания ДЗТ по условию обеспечения не срабатывания при обрыве цепей тока, о.е.	$I_{ДЗТ\ мин}$	0,2
Трансформатор собственных нужд		
ТСН в зоне дифференциальной защиты на стороне НН силового трансформатора		☐
Максимальное значение тока трехфазного КЗ за ТСН, приведенное к стороне НН силового трансформатора, А;	$I^{(3)}_{КЗ\ макс\ ТСН}$	0

Таблица 3.2 – Расчет параметров срабатывания

Параметр	Расчетное условие	Расчетное выражение
Вторичный ток ТТ стороны ВН в номинальном режиме		
Номинальный первичный ток стороны ВН трансформатора, А		$I_{ном.ВН}=\frac{S_т}{\sqrt{3}\cdot U_{ВН}}=\frac{6300}{\sqrt{3}\cdot 35}=104$ где $S_т$= 6300 - мощность силового трансформатора, кВА; $U_{ВН}$=35 - напряжение обмотки ВН, кВ.
Коэффициент трансформации ТТ стороны ВН		$n_{Т\ ВН}=\frac{I_{1\ ном\ ТТ\ ВН}}{I_{2\ ном\ ТТ\ ВН}}=\frac{300}{5}=60$ где $I_{1\ ном\ ТТ\ ВН}$ - номинальный первичный ток ТТ стороны ВН, А; $I_{2\ ном\ ТТ\ ВН}$ - номинальный вторичный ток ТТ стороны ВН, А.
Вторичный ток ТТ стороны ВН в номинальном режиме, А		$I_{2\ ном.ВН}=\frac{I_{ном.ВН}}{n_{Т\ ВН}}=\frac{104}{60}=1{,}73$ где $I_{ном.ВН}$=104 - номинальный первичный ток стороны ВН трансформатора, А; $n_{Т\ ВН}$=60 – коэффициент трансформации ТТ стороны ВН.
	Проверка ТТ по условию выравнивания вторичных токов	0,75 А < $I_{2\ ном.ВН}$ =1,73 А < 5,00 А – проверка пройдена где $I_{2\ ном.ВН}$= 1,73 - вторичный ток ТТ стороны ВН в номинальном режиме, А.
Вторичный ток ТТ стороны НН в номинальном режиме		
Номинальный первичный ток стороны ВН трансформатора, А		$I_{ном.НН}=\frac{S_т}{\sqrt{3}\cdot U_{НН}}=\frac{6300}{\sqrt{3}\cdot 6{,}3}=577$ где $S_т$= 6300 - мощность силового трансформатора, кВА; $U_{НН}$= 6,3 - напряжение обмотки НН, кВ.
Коэффициент трансформации ТТ стороны НН		$n_{Т\ НН}=\frac{I_{1\ ном\ ТТ\ НН}}{I_{2\ ном\ ТТ\ НН}}=\frac{1500}{5}=300$ где $I_{1\ ном\ ТТ\ НН}$ - номинальный первичный ток ТТ стороны НН, А; $I_{2\ ном\ ТТ\ НН}$ - номинальный вторичный ток ТТ стороны НН, А.
Вторичный ток ТТ стороны НН в номинальном режиме, А		$I_{2\ ном.НН}=\frac{I_{ном.НН}}{n_{Т\ НН}}=\frac{577}{300}=1{,}92$ где $I_{ном.НН}$=577 - номинальный первичный ток стороны НН трансформатора, А; $n_{Т\ НН}$=300 – коэффициент трансформации ТТ стороны НН.
	Проверка ТТ по условию выравнивания вторичных токов	0,75 А < $I_{2\ ном.НН}$ = 1,92 < 5,00 А – проверка пройдена где $I_{2\ ном.НН}$= 1,92 - вторичный ток ТТ стороны НН в номинальном режиме, А.

Продолжение таблицы 3.2

Параметр	Расчетное условие	Расчетное выражение
Дифференциальная защита трансформатора		
Относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения		$U_{рег}=n\cdot\frac{\Delta U}{100\%}=9\cdot\frac{1,78}{100\%}=0,16$ где n = 9 - количество ступеней регулирования в одну сторону; ΔU =1,78- шаг регулирования напряжения, %
Начальный ток срабатывания ДЗТ, о.е.	Отстройка от тока небаланса при токе $I_{торм1}$ = 0,5 $I_{ном.ВН}$	$I_{ДЗТ\ нач}=k_{отс}\cdot(\varepsilon_{пер}+U_{рег}+\gamma)\cdot I_{торм1}=1,5\cdot(0,1+0,16+0,03)\cdot 0,5=0,22$ где $k_{отс}$ =1,5- коэффициент отстройки; $\varepsilon_{пер}$= 0,1 - относительная полная погрешность ТТ в установившемся режиме КЗ; $U_{рег}$ =0,16 - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения; γ=0,03 - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч; $I_{торм1}$= 0,5 – значение тока торможения, о.е.
	Значение должно быть не менее Iдзт мин	$I_{ДЗТ\ нач}=\max(I_{ДЗТ\ мин};I_{ДЗТ\ нач})=\max(0,2;0,22)=0,22$ где $I_{ДЗТ\ мин}$ – минимальное значение тока срабатывания ДЗТ, о.е.; $I_{ДЗТ\ нач}$ – начальный ток срабатывания ДЗТ, о.е.
Ток срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ2}$, о.е.	Отстройка от тока небаланса при токе $I_{торм2}$ = 1,5 $I_{ном.ВН}$	$I_{ДЗТ2}=k_{отс}\cdot(\varepsilon_{пер}+U_{рег}+\gamma)\cdot I_{торм2}=1,5\cdot(0,1+0,16+0,03)\cdot 1,5=0,65$ где $k_{отс}$=1,5 - коэффициент отстройки; $\varepsilon_{пер}$= 0,1 - относительная полная погрешность ТТ в установившемся режиме КЗ; $U_{рег}$ =0,16- относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения; γ=0,03 - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч; $I_{торм2}$= 1,5 – значение тока торможения, о.е.
Коэффициент торможения второго участка		$K_{т2}=\frac{I_{ДЗТ2}-I_{ДЗТ\ нач}}{I_{торм2}-I_{торм1}}=\frac{0,65-0,22}{1,5-0,5}=0,43$ где $I_{ДЗТ2}$ =0,65- ток срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ2}$, о.е.; $I_{ДЗТ\ нач}$ =0,22 – начальный ток срабатывания ДЗТ, о.е.; $I_{торм2}$ = 1,5 – значение тока торможения, о.е.; $I_{торм1}$ =0,5 – значение тока торможения, о.е.
Ток срабатывания ДЗТ $I_{ДЗТ3}$, о.е.	Отстройка от тока небаланса при максимальном токе внешнего КЗ	$I_{ДЗТ3}=k_{отс}\cdot(\varepsilon_{пер}+U_{рег}+\gamma)\cdot I^{(3)}_{КЗ\ макс}/I_{ном\ НН}=$ $1,5\cdot(0,1+0,16+0,03)\cdot 3211/577=2,42$ где $k_{отс}$=1,5 - коэффициент отстройки; $\varepsilon_{пер}$= 0,1 - относительная полная погрешность ТТ в установившемся режиме КЗ; $U_{рег}$ = 0,16- относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения; γ=0,03 - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч; $I^{(3)}_{КЗ\ макс}$=3211 - максимальное значение тока внешнего трехфазного КЗ на стороне НН, А; $I_{ном\ НН}$=577 - номинальный первичный ток стороны НН трансформатора, А.
Коэффициент торможения третьего участка		$K_{т3}=\frac{I_{ДЗТ3}-I_{ДЗТ2}}{I^{(3)}_{КЗ\ макс}/I_{ном\ НН}-I_{торм2}}=\frac{2,42-0,65}{3211/577-1,5}=0,44$ где $I_{ДЗТ3}$=5,9 – ток срабатывания $I_{ДЗТ3}$, о.е.; $I_{ДЗТ2}$ = 0,65– ток срабатывания $I_{ДЗТ2}$, о.е.; $I^{(3)}_{КЗ\ макс}$=3211 - максимальное значение тока внешнего трехфазного КЗ на стороне НН, А;

Продолжение таблицы 3.2

Параметр	Расчетное условие	Расчетное выражение
		$I_{ном\ НН}$=577 - номинальный первичный ток стороны ВН трансформатора, А; $I_{торм2}$ = 1,5 – значение тока торможения, о.е.
	Значение должно быть не менее 0,3	$К_{т3}$=max(0,3;0,44)=0,44
Коэффициент чувствительности ДЗТ	Коэффициент чувствительности должен быть больше 2	$К_ч=\frac{I^{(2)}_{КЗ\ мин}}{I_{ДЗТ\ нач}\cdot I_{ном.НН}}=\frac{2152}{0,22\cdot 577}=17$ $I^{(2)}_{КЗ\ мин}$ - минимальное значение тока внутреннего двухфазного КЗ на стороне НН; $I_{ДЗТ\ нач}$ – начальный ток срабатывания ДЗТ, о.е.; $I_{ном.НН}$ - номинальный первичный ток стороны НН трансформатора, А
Дифференциальная токовая отсечка		
Ток срабатывания ДТО, о.е.	Отстройка от броска тока намагничивания силового трансформатора	$I_{ДТО}$ = 5
	Отстройка от тока небаланса при максимальном токе внешнего КЗ	$I_{ДТО}=k_{отс}\cdot(\varepsilon_{апер}+U_{рег}+\gamma)\cdot I^{(3)}_{КЗ\ макс}/I_{ном\ НН}=$ $1,2\cdot(0,7+0,16+0,03)\cdot 3211/577=5,94$ где $k_{отс}$= 1,2 - коэффициент отстройки; $\varepsilon_{апер}$= 0,7 – относительная полная погрешность ТТ в переходном режиме; $U_{рег}$ = 0,16 - относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения; γ=0,03 - относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч; $I^{(3)}_{КЗ\ макс}$ = 3211 - максимальное значение тока внешнего трехфазного КЗ на стороне НН, А; $I_{ном\ ВН}$ = 577 - номинальный первичный ток стороны НН трансформатора, А.
	Выбор максимального из полученных значений	$I_{ДТО}$ = max(5; 5,94) = 5,94
Блокировка по второй гармонике		
Ток срабатывания блокировки по второй гармонике, о.е.		$I_{2г.}$=0,15
Перекрестная блокировка	Схема соединения	Введена, т.к. схема соединения обмоток «звезда-треугольник»

Таблица 3.3 – Уставки для ввода в устройство КИТ-Р-А3-ДЗТ-01

Наименование уставки	Диапазон изменения	Значение по умолчанию	Комментарий	Значение для группы уставок
Коэффициенты трансформации				
K IA ВН, K IB ВН, K IC ВН	1 – 3000	1	Коэффициент трансформации ТТ стороны ВН	60
K IA НН, K IB НН, K IC НН	1 – 3000	1	Коэффициент трансформации ТТ стороны НН	300
Трансформатор				
Sном	1,0 – 63,0	10,0	Номинальная полная мощность трансформатора, МВА	6,3
Uном ВН	6,00 – 40,00	35,00	Номинальное первичное значения напряжение стороны ВН, кВ	35
Uном НН	1,00 – 40,00	10,50	Номинальное первичное значения напряжение стороны НН, кВ	6,3
Схема ВН – Y	☐ – ☑	☑	Схема соединения стороны ВН – звезда	☑
Схема НН – Y	☐ – ☑	☐	Схема соединения стороны НН – звезда	☐
Группа	0; 1; 11	11	Группа соединения	11
ДЗТ				
Ввод ДЗТ	☐ – ☑	☐	Ввод ДЗТ	☑
ДЗТ Iдиф.нач.	0,20 – 1,50	0,30	Уставка по начальному току срабатывания ДЗТ, ном	0,22
ДЗТ Кторм2	0,00 – 0,50	0,20	Уставка по коэффициенту торможения второго участка характеристики торможения ДЗТ	0,43
ДЗТ Кторм3	0,30 – 1,20	0,50	Уставка по коэффициенту торможения третьего участка характеристики торможения ДЗТ	0,44
ДЗТ 2г>	0,10 – 0,30	0,15	Уставка блокировки по второй гармонике ДЗТ	0,15
Вывод ПБ ДЗТ	☐ – ☑	☐	Вывод ДЗТ	☐
ДТО				
Ввод ДТО	☐ – ☑	☐	Ввод ДТО	☑
ДТО I>	3,00 – 30,00	10,00	Уставка по току срабатывания ДТО, ном	5,94
КЦТ				
Ввод КЦТ	☐ – ☑	☐	Ввод быстродействующего КЦТ на блокирование ДЗТ	☑
Ввод КЦТ Iдиф	☐ – ☑	☐	Ввод КЦТ по току небаланса дифференциальной защиты на предупредительную сигнализацию	☐
КЦТ Iдиф.нач.	0,10 – 0,50	0,20	Уставка по дифференциальному току срабатывания КЦТ, ном	0,20
КЦТ Кторм2	0,00 – 0,50	0,20	Уставка по коэффициенту торможения КЦТ	0,20
КЦТ Tср	1,00 – 10,00	5,00	Уставка по времени срабатывания КЦТ, с	5,00

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок. Шестое издание.

Изменения в документе

№ изм.	Номера измененных страниц	Дата изменения	Комментарий
-	-	24.03.2023	Исходная версия/редакция
1	11-14	20.11.2024	Исправление арифметических ошибок в примере расчета
1	4-18	11.12.2024	Изменен ввод коэффициентов трансформации, отстройка от обрыва цепей тока, ТСН в зоне, проверка чувствительности