

Требования к трансформаторам тока
Методические указания

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 требования к трансформаторам тока, применяемым с оборудованием "НТЦ "Механотроника".

Методика расчёта носит рекомендательный характер.

Сведения о стандарте

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

Научно-технический руководитель работы:

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

Исполнители:

Начальник отдела РЗА

ИВАНОВ И. В.

Ведущий инженер-системотехник

СЕЛЬКОВ Е. А.

2 **УТВЕРЖДЁН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ** Приказом Генерального директора № 112 от 23.03.2018

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 Требования к ТТ	3
4 Обеспечение точной работы при КЗ вне защищаемой зоны	3
4.1 Выбор расчетного тока	3
4.2 Проверка при проектировании	4
4.3 Проверка при проведении наладочных работ	6
5 Обеспечение срабатывания при КЗ в начале защищаемой зоны	7
6 Обеспечение допустимого напряжения на выводах вторичной обмотки ТТ	7
7 Примеры проверки ТТ	7
Литература	10

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
Требования к трансформаторам тока
Методические указания

1 Область применения

Настоящий стандарт соответствует требованиям и рекомендациям, изложенным в ПУЭ гл. 3.2 «Релейная защита» [1].

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

При разработке настоящего стандарта учитывалась практика решений, принятых в отечественной электроэнергетике.

В настоящем стандарте приведены требования, предъявляемые к ТТ, для правильного функционирования блоков БМРЗ в установившихся режимах и переходных процессах.

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;

ВАХ – вольт-амперная характеристика;

ВН – высшее напряжение;

КЗ – короткое замыкание;

МТЗ – максимальная токовая защита;

НН – низшее напряжение;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

ТО – токовая отсечка;

ТТ – трансформатор тока.

3 Требования к ТТ

3.1 Приведенные требования к трансформаторам тока соответствуют рекомендациям [2], [3], [4], [5].

3.2 Для работы релейной защиты применяют обмотки ТТ класса 5Р и 10Р, для которых нормируется предельная кратность тока КЗ. Подключение релейной защиты к обмоткам для измерений недопустимо.

3.3 Трансформаторы тока должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать точную работу токовых защит и не допускать излишних срабатываний дифференциальных защит при КЗ вне защищаемой зоны в установившемся режиме;
- обеспечивать срабатывание при КЗ в начале защищаемой зоны в условиях повышенной погрешности ТТ;
- обеспечивать допустимое напряжение на выводах вторичной обмотки трансформаторов тока при КЗ в защищаемой зоне.

4 Обеспечение точной работы при КЗ вне защищаемой зоны

4.1 Выбор расчетного тока

4.1.1 Точная работа защиты обеспечивается при погрешности обмоток ТТ 10Р (5Р) менее 10(5) % в режиме установившегося КЗ с расчетным первичным током $I_{1\text{расч}}$.

4.1.2 Значение $I_{1\text{расч}}$ выбирается различно для разных типов релейной защиты:

- для токовых защит с независимой характеристикой выдержки времени, в том числе для ТО без выдержки времени, $I_{1\text{расч}} = 1,1 \cdot I_{\text{с.з.}}$. В этих защитах достаточно обеспечить надежную и точную работу при токе срабатывания защиты. При более близких КЗ с более высокими значениями первичных токов измеренный ток всегда будет больше уставки срабатывания, несмотря на большую погрешность;

- для МТЗ с зависимой характеристикой $I_{1\text{расч}} = 1,1 \cdot I_{\text{согл.}}$, где $I_{\text{согл.}}$ соответствует току КЗ, при котором производится согласование по времени с последующей защитой;

- для дифференциальной защиты $I_{1\text{расч}}$ принимается равным наибольшему значению тока при внешнем КЗ;

- для дистанционной защиты линии с односторонним питанием $I_{1\text{расч}}$ принимается равным наибольшему значению тока КЗ в конце первой зоны защиты. Для линий с двусторонним питанием следует дополнительно определить ток при КЗ на шинах той подстанции, где установлена защита ("КЗ за спиной").

4.1.3 При выполнении блоком функций нескольких защит в качестве $I_{1\text{расч}}$ принимается наибольшее из значений.

4.1.4 Для сетей, работающих с заземлённой нейтралью, рекомендуется выполнять проверку отдельно для защит, реагирующих на однофазные и межфазные КЗ, так как нагрузка на ТТ зависит от вида КЗ (см. 4.2.5).

4.1.5 Сопротивление токовых входов блоков с питанием от токовых цепей зависит от вторичного тока. При применении таких блоков рекомендуется выполнять проверку допустимости погрешности в нескольких точках:

- для каждой из ступеней токовых защит с независимой выдержкой времени при токе $I_{1\text{ расч}} = 1,1 \cdot I_{\text{с.з.}}$;
- для МТЗ с зависимой характеристикой в диапазоне от $I_{\text{с.з.}}$ до $1,1 \cdot I_{\text{согл.}}$.

4.2 Проверка при проектировании

4.2.1 При проектировании выполняют проверку допустимости нагрузки на ТТ. Погрешность ТТ не превышает 10(5) % при выполнении следующего условия

$$Z_{\text{расч}} \leq Z_{\text{доп}} \quad (4.1)$$

где $Z_{\text{расч}}$ - расчетное вторичное сопротивление, Ом. Определяется в соответствии с 4.2.5;

$Z_{\text{доп}}$ - допустимое сопротивление нагрузки ТТ, Ом.

В случае, если условие (4.1) не удовлетворяется необходимо принять одну из следующих мер:

- снизить вторичную нагрузку ТТ (например, за счет применения контрольных кабелей большего сечения);
- выбрать ТТ с бóльшим значением номинальной предельной кратности $K_{\text{ном}}$;
- выбрать ТТ с бóльшим значением коэффициента трансформации $n_{\text{т}}$.

4.2.2 Допустимое сопротивление нагрузки $Z_{\text{доп}}$ зависит от расчетной кратности тока $K_{\text{расч}}$. Расчетную кратность тока определяют по формуле

$$K_{\text{расч}} = \frac{I_{1\text{ расч}}}{I_{1\text{ ном}}}, \quad (4.2)$$

где $I_{1\text{ расч}}$ - первичный расчетный ток, при котором должна обеспечиваться работа ТТ с погрешностью не более 10(5) %. Выбирается в соответствии с 4.1.2 в зависимости от типа защиты;

$I_{1\text{ ном}}$ - номинальный первичный ток ТТ, А.

4.2.4 В документации на ТТ приводят кривую предельной кратности - зависимость допустимой нагрузки от кратности тока. По данной зависимости определяют допустимую нагрузку $Z_{\text{доп}}$ при расчетной кратности тока $K_{\text{расч}}$.

Если известно сопротивление вторичной обмотки ТТ $Z_{2\text{т}}$, допустимое сопротивление нагрузки ТТ $Z_{\text{доп}}$, Ом, определяют по формуле

$$Z_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{ном}} \cdot (Z_{2\text{т}} + Z_{2\text{ном}})}{K_{\text{расч}}} - Z_{2\text{т}}, \quad (4.3)$$

где $K_{\text{ном}}$ - номинальная предельная кратность вторичных обмоток ТТ для защиты;

Z_{2T} – полное сопротивление вторичной обмотки ТТ, Ом. Может быть принято равным сопротивлению обмотки постоянному току R_{2T} ;

$Z_{2ном}$ – номинальная нагрузка ТТ, Ом;

$K_{расч}$ – расчетная кратность тока.

4.2.5 Расчёт вторичной нагрузки $Z_{расч}$ выполняют в соответствии с таблицей 4.1.

Таблица 4.1 – Расчетные формулы для определения вторичной нагрузки ТТ

Схема соединения ТТ	Расчетное полное сопротивление нагрузки ТТ на фазу $Z_{расч}$	Вид КЗ
Сети с заземленной нейтралью		
Трехфазная трехрелейная 	$Z_{расч} = R_{пр} + Z_{р.ф} + R_{пер}$	Двухфазное и трехфазное
	$Z_{расч} = 2 \cdot R_{пр} + Z_{р.ф} + Z_{р.0} + R_{пер}$	Однофазное
Сети с изолированной нейтралью		
Трехфазная трехрелейная 	$Z_{расч} = R_{пр} + Z_{р.ф} + R_{пер}$	Трехфазное и двухфазное
Двухфазная трехрелейная, двухфазная двухрелейная 	$Z_{расч} = \sqrt{3} \cdot R_{пр} + Z_{р.ф} + Z_{р.0} + R_{пер}$	Трехфазное
	$Z_{расч} = 2 \cdot R_{пр} + Z_{р.ф} + Z_{р.0} + R_{пер}$	Двухфазное АВ или ВС
	$Z_{расч} = 3 \cdot R_{пр} + Z_{р.ф} + 2 \cdot Z_{р.0} + R_{пер}$	Двухфазное фаз АВ за трансформатором Y/Δ-11
$R_{пр}$ – сопротивление контрольного кабеля; $Z_{р.ф}$ – полное сопротивление нагрузки в фазном проводе; $Z_{р.0}$ – полное сопротивление нагрузки в нейтральном проводе; $R_{пер}$ – переходное сопротивление контактов (принимается равным 0,1 Ом).		

4.2.6 Сопротивление контрольных кабелей рассчитывают по формуле

$$R_{пр} = \frac{\rho \cdot L}{S}, \quad (4.4)$$

где ρ – удельное сопротивление контрольного кабеля. Для медных кабелей принимают $0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

L – длина контрольного кабеля, м;

S – поперечное сечение контрольного кабеля, мм^2 .

4.2.7 При известном вторичном сопротивлении $Z, \text{Ом}$, вторичную нагрузку $S, \text{В} \cdot \text{А}$, рассчитывают по формуле

$$S = I_{2\text{НОМ}}^2 \cdot Z, \quad (4.5)$$

где $I_{2\text{НОМ}}$ – номинальный вторичный ток (1 или 5 А), А;
 Z – вторичное сопротивление, Ом.

4.2.8 При известной вторичной мощности $S, \text{В} \cdot \text{А}$, вторичное сопротивление $Z, \text{Ом}$, рассчитывают по формуле

$$Z = \frac{S}{I_{2\text{НОМ}}^2}, \quad (4.6)$$

где S – вторичная нагрузка, $\text{В} \cdot \text{А}$;
 $I_{2\text{НОМ}}$ – номинальный вторичный ток (1 или 5 А), А.

4.3 Проверка при проведении наладочных работ

4.3.1 При проведении наладочных работ определяют погрешность $\varepsilon, \%$, ТТ при расчетном вторичном токе $I_{2\text{расч}}$ по формуле

$$\varepsilon = \frac{I_{\text{нам}}}{I_{2\text{расч}}} \cdot 100, \quad (4.7)$$

где $I_{\text{нам}}$ – ток намагничивания, соответствующий вторичному току $I_{2\text{расч}}$, А. Рассчитывается по ВАХ ТТ согласно 4.3.3;

$I_{2\text{расч}}$ – вторичный расчетный ток, А. Рассчитывается согласно 4.3.2.

В случае, если погрешность превышает допустимую необходимо снизить вторичную нагрузку ТТ (например, за счет применения контрольных кабелей большего сечения).

4.3.2 Вторичный расчетный ток определяют по формуле

$$I_{2\text{расч}} = \frac{I_{1\text{расч}}}{n_{\text{T}}}, \quad (4.8)$$

где $I_{1\text{расч}}$ – первичный расчетный ток, при котором должна обеспечиваться работа ТТ с погрешностью не более 10(5) %. Выбирается в соответствии с 4.1.2 в зависимости от типа защиты;

n_{T} – коэффициент трансформации ТТ.

4.3.3 Ток намагничивания $I_{\text{нам}}$ определяют по ВАХ ТТ $I_{\text{нам}} = f(U_2)$ при напряжении $U_{2\text{расч}}$. ВАХ ТТ представляет собой зависимость тока во вторичной обмотке при разомкнутой первичной обмотке при подаче синусоидального напряжения. Методы испытаний приведены в [3].

4.3.4 Напряжение $U_{2\text{расч}}$ определяют по формуле

$$U_{2\text{расч}} = I_{2\text{расч}} \cdot (Z_{2\text{T}} + Z_{\text{расч}}), \quad (4.9)$$

где $I_{2\text{расч}}$ – вторичный расчетный ток, А;

$Z_{2\text{T}}$ – полное сопротивление вторичной обмотки ТТ, Ом. Может быть принято равным сопротивлению обмотки постоянному току;

$Z_{\text{расч}}$ – расчетное вторичное сопротивление, Ом. Определяется в соответствии с рекомендациями 4.2.5. Рекомендуется проводить действительные измерения сопротивления при проведении наладочных работ.

5 Обеспечение срабатывания при КЗ в начале защищаемой зоны

5.1 При КЗ в начале защищаемой зоны значения токов превосходят значения тока $I_{\text{расч}}$, при котором проводится проверка на допустимую погрешность. В связи с этим возможно увеличение погрешностей ТТ выше 10(5) % и отказ защиты.

5.2 Для ненаправленных токовых защит в блоках БМРЗ погрешность трансформаторов тока при КЗ в начале защищаемой зоны не нормируется вследствие устойчивости алгоритмов цифровой обработки сигнала к насыщению трансформаторов тока.

6 Обеспечение допустимого напряжения на выводах вторичной обмотки ТТ

6.1 Действующее значение напряжения на выводах вторичной обмотки ТТ определяют по формуле

$$U_{2 \text{ макс}} = K_{\text{макс}} \cdot I_{2 \text{ ном}} \cdot Z_{\text{расч}}, \quad (6.1)$$

где $K_{\text{макс}}$ – максимальная кратность тока КЗ в начале защищаемого элемента;

$I_{2 \text{ ном}}$ – номинальный вторичный ток ТТ, А;

$Z_{\text{расч}}$ – расчетное вторичное сопротивление, Ом.

6.2 Полученное по формуле 6.1 значение $U_{2 \text{ макс}}$ не должно превышать допустимого действующего значения напряжения, при котором производится проверка прочности изоляции вторичных цепей. Для этого должно выполняться условие

$$U_{2 \text{ макс}} \leq 1000 \text{ В} \quad (6.2)$$

7 Примеры проверки ТТ

7.1 Исходные данные

Трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10:

- $I_{1 \text{ ном}} = 75 \text{ А}$ – номинальный первичный ток ТТ;
- $I_{2 \text{ ном}} = 5 \text{ А}$ – номинальный вторичный ток ТТ;
- $n_{\text{T}} = 15$ – номинальный коэффициент трансформации ТТ;
- $K_{\text{ТТ ном}} = 10$ – номинальная предельная кратность;
- $S_{\text{ТТ ном}} = 15 \text{ В} \cdot \text{А}$ – номинальная вторичная мощность;
- $L_{\text{каб}} = 10 \text{ м}$ – длина контрольного кабеля от выводов трансформатора до места установки защиты, м;
- $S = 4 \text{ мм}^2$ – поперечное сечение контрольного кабеля;
- медь – материал контрольного кабеля;
- схема подключения двухфазная трехрелейная.

Кривая предельной кратности представлена на рисунке 7.1.

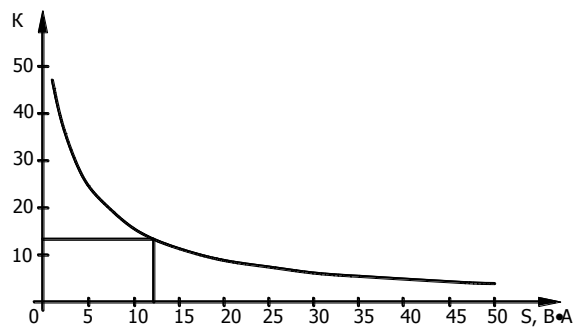


Рисунок 7.1 – Кривая предельной кратности ТТ ТОЛ-СЭЩ-10

Блок релейной защиты БМРЗ-152-КЛ:

- вторичная схема выполнена на постоянном оперативном токе;
- $Z_{\text{вх}} = 0,016 \text{ Ом}$ - сопротивление аналогового входа тока;
- $I_{\text{ТО с.з.}} = 895 \text{ А}$ - первичный ток срабатывания ТО;
- $I_{\text{МТЗ с.з.}} = 208 \text{ А}$ - первичный ток срабатывания МТЗ.

7.2 Расчетный ток $I_{1 \text{ расч}}$, А, определить согласно 4.1.2

$$I_{1 \text{ расч}} = 1,1 \cdot I_{\text{ТО с.з.}} = 1,1 \cdot 895 = 984 \text{ А}$$

7.3 Расчетную кратность тока определить по формуле (4.2)

$$K_{\text{расч}} = \frac{I_{1 \text{ расч}}}{I_{1 \text{ ном}}} = \frac{984}{75} = 13,1$$

7.4 Допустимую нагрузку определить по кривой предельной кратности (рисунок 7.1) $S_{\text{доп}} = 12 \text{ В}\cdot\text{А}$.

7.5 Допустимое вторичное сопротивление $Z_{\text{расч}}$, Ом, рассчитать по формуле (4.6)

$$Z_{\text{доп}} = \frac{S_{\text{доп}}}{I_{2 \text{ ном}}^2} = \frac{12}{5^2} = 0,48 \text{ Ом}$$

7.6 Сопротивление контрольных кабелей рассчитать по формуле (4.4)

$$R_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot L_{\text{каб}}}{S} = \frac{0,0175 \cdot 10}{4} = 0,044 \text{ Ом}$$

7.7 Расчёт вторичной нагрузки $Z_{\text{расч}}$ выполнить в соответствии с таблицей 4.1 по формуле

$$Z_{\text{расч}} = 2 \cdot R_{\text{пр}} + Z_{\text{р.ф}} + Z_{\text{р.0}} + R_{\text{пер}} = 2 \cdot 0,044 + 0,016 + 0 + 0,1 = 0,21 \text{ Ом}$$

7.8 Проверку допустимости нагрузки на ТТ выполнить по формуле (4.1)

$$Z_{\text{расч}} = 0,21 \leq Z_{\text{доп}} = 0,48$$

Условие выполняется, поэтому погрешность ТТ не превышает 10 %.

7.9 Согласно разделу 5 для токовых защит в блоках БМРЗ погрешность трансформаторов тока в целях предотвращения отказов

защиты при КЗ в начале защищаемой зоны не нормируется вследствие устойчивости алгоритмов цифровой обработки сигнала к насыщению трансформаторов тока.

7.10 Максимальную кратность тока КЗ на выводах ТТ определить по формуле

$$K_{\text{макс}} = \frac{I_{\text{к макс}}}{I_{1 \text{ ном}}} = \frac{2000}{75} = 27$$

7.11 Действующее значение напряжения на выводах вторичной обмотки ТТ определить по формуле (6.1)

$$U_{2 \text{ макс}} = K_{\text{макс}} \cdot I_{2 \text{ ном}} \cdot Z_{\text{расч}} = 27 \cdot 5 \cdot 0,21 = 28 \text{ В}$$

7.12 Выполнить проверку допустимости напряжения на выводах вторичной обмотки ТТ по формуле (6.2)

$$U_{2 \text{ макс}} = 28 < 1000 \text{ В}$$

Условие выполняется.

7.13 Трансформаторы тока удовлетворяют всем требованиям, следовательно, применение выбранных ТТ допустимо.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. Шестое издание. – СПб.: Издательство ДЕКАН, 2005. – 464 с.
2. ГОСТ 7746-2015 Трансформаторы тока. Общие технические условия. Введ. 2017-03-01.
3. РД 153-34.0-35.301-2002 Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты и измерения. Введ. 2003-03-01.
4. Королев Е.П., Либерзон Э.М. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. – М.: Энергия, 1980. – 208 с., ил.
5. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1985. -296 с., ил.

УДК 621.316.925.1

Ключевые слова: требования к трансформаторам тока, релейная защита

**Генеральный директор
ООО «НТЦ «Механотроника»**

Шейкин И.С.

Технический директор

Гондуров С.А.

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

Соловьёв А.Л.

Начальник отдела релейной
защиты и автоматики

Иванов И.В.

Ведущий инженер-системотехник

Сельков Е.А.

НОРМОКОНТРОЛЬ:

Начальник бюро стандартизации и
технической документации

Ермоленко Л.М.

УДК 621.316.925.1

Ключевые слова: требования к трансформаторам тока, релейная защита

**Генеральный директор
ООО «НТЦ «Механотроника»**

Шейкин И.С.

Технический директор

Гондуров С.А.

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

Соловьёв А.Л.

Начальник отдела релейной
защиты и автоматики

Иванов И.В.

Ведущий инженер-системотехник

Сельков Е.А.

НОРМОКОНТРОЛЬ:

Начальник бюро стандартизации и
технической документации

Ермоленко Л.М.