

**МЕТОДИКА УЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ РАБОТЫ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА  
И НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОГРАММИРУЕМЫХ СИСТЕМАХ  
УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**В.Л. Рашкевич**

*Учреждение образования «Белорусский теплоэнергетический институт», г. Минск*

Научный руководитель Е.П. Забелло

Измерительные трансформаторы тока (ТТ), согласно действующим ГОСТам, обеспечивают класс точности 0,5 только при первичных нагрузках, превышающих 20 % от номинальных [1]. Погрешность измерительных трансформаторов напряжения (ТН) существенно зависит от коэффициента мощности нагрузки, отношения напряжения первичной обмотки к номинальному напряжению трансформатора [2].

Сокращение выпуска промышленной продукции предприятиями привело к снижению электрических нагрузок и изменению коэффициента мощности и большинство измерительных ТТ, ТН стали функционировать с большими погрешностями, что в конечном итоге привело к снижению точности учета потребляемой электроэнергии.

Методика устанавливает требования к учету погрешности работы измерительных трансформаторов тока и напряжения в системах учета электроэнергии с использованием компьютерных программ. Методика распространяется на все системы учета электроэнергии, использующие программные средства обработки измерений электрической энергии. Результаты учета электроэнергии с внесением поправок на погрешности работы измерительных трансформаторов тока и напряжения в соответствии с данной методикой должны служить неотъемлемой частью компьютерных программ для коммерческих взаимоотношений (взаиморасчетов) между поставщиком и потребителем электрической энергии.

Фактическое значение активной и реактивной энергии с учетом погрешности измерительных трансформаторов вычисляется по формулам:

$$W_{a_{\text{ФАКТ}}} = W_{a_{\text{СЧ}}} \cdot K_I \cdot K_U, \quad (1)$$

$$W_{p_{\text{ФАКТ}}} = W_{p_{\text{СЧ}}} \cdot K_I \cdot K_U. \quad (2)$$

Коэффициенты в выражениях (1) и (2) определяются по следующим формулам:

$$K_I = \left(1 - \frac{\Delta\Phi_I}{100}\right), \quad (3)$$

$$K_U = \left(1 - \frac{\Delta\Phi_U}{100}\right). \quad (4)$$

Итоговые погрешности измерительных трансформаторов, учитывающие систематические погрешности, определяют по следующим формулам:

$$\Delta\Phi_I = -f_{\text{ТТ}} - 0,0291 \cdot Q_{\text{ТТ}} \cdot \text{tg}\varphi, \%, \quad (5)$$

$$\Delta\Phi_U = -f_{\text{ТН}} - 0,344 \cdot Q_{\text{ТН}} \cdot \text{tg}\varphi, \%. \quad (6)$$

Зависимости токовой и угловой погрешностей трансформатора тока в зависимости от кратности первичного тока определяются с помощью следующих аппроксимирующих выражений:

$$f_{\text{ТТ}} = -\frac{A_{\text{фТТ}}}{K_{\text{ТТ1}}} + B_{\text{фТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}} + C_{\text{фТТ}}, \quad (7)$$

$$Q_{\text{ТТ}} = \frac{A_{\text{оТТ}}}{K_{\text{ТТ1}}} + B_{\text{оТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}} + C_{\text{оТТ}}. \quad (8)$$

Зависимости угловой погрешности и погрешности трансформатора напряжения по напряжению от коэффициента загрузки трансформатора напряжения по мощности определяются с помощью следующих аппроксимирующих выражений:

$$f_{\text{ТН}} = B_{\text{фТН}} \cdot K_{\text{ТНС}} + C_{\text{фТН}}, \quad (9)$$

$$Q_{\text{ТН}} = B_{\text{оТН}} \cdot K_{\text{ТНС}} + C_{\text{оТН}}. \quad (10)$$

Исходными данными для учета погрешности измерительных трансформаторов в программируемых системах учета электроэнергии являются коэффициенты аппроксимирующих выражений, значения коэффициентов загрузки измерительных трансформаторов, коэффициент мощности и собственно показания электросчетчиков. Снятие зависимости погрешности трансформаторов тока производится согласно ГОСТ 8.217-2003 [3] для кратностей тока 0,05; 0,2 и 1 при подключении к каждой фазе ТТ реальной вторичной нагрузки.

Кривые токовых и угловых погрешностей трансформатора тока в зависимости от кратности первичного тока можно аппроксимировать математическими выражениями (7), (8). Для определения коэффициентов аппроксимации необходимо составить системы из трех уравнений для трех значений кратности первичного тока (0,05; 0,2 и 1):

$$\begin{cases} f_{\text{ТТ}} = -\frac{A_{\text{фТТ}}}{K_{\text{ТТ1}0,05}} + B_{\text{фТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}0,05} + C_{\text{фТТ}} \\ f_{\text{ТТ}0,2} = -\frac{A_{\text{фТТ}}}{K_{\text{ТТ1}0,2}} + B_{\text{фТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}0,2} + C_{\text{фТТ}} \\ f_{\text{ТТ1}} = -\frac{A_{\text{фТТ}}}{K_{\text{ТТ1}}} + B_{\text{фТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}} + C_{\text{фТТ}}, \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} Q_{\text{ТТ}0,05} = \frac{A_{\text{оТТ}}}{K_{\text{ТТ1}0,05}} + B_{\text{оТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}0,05} + C_{\text{оТТ}} \\ Q_{\text{ТТ}0,2} = \frac{A_{\text{оТТ}}}{K_{\text{ТТ1}0,2}} + B_{\text{оТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}0,2} + C_{\text{оТТ}} \\ Q_{\text{ТТ1}} = \frac{A_{\text{оТТ}}}{K_{\text{ТТ1}}} + B_{\text{оТТ}} \cdot K_{\text{ТТ1}} + C_{\text{оТТ}}. \end{cases} \quad (12)$$

Решение систем уравнений (11) и (12) позволяет найти коэффициенты аппроксимации погрешностей трансформатора тока.

Кривые угловых погрешностей и погрешностей напряжения трансформатора напряжения в зависимости от коэффициента загрузки можно аппроксимировать математическими выражениями (9), (10). Для определения коэффициентов аппроксимации необходимо составить системы из двух уравнений для двух значений коэффициента загрузки трансформатора напряжения (0,5 и 1):

$$\begin{cases} f_{ТН0,5} = B_{fТН} \cdot K_{ТН30,5} + C_{fТН} \\ f_{ТН1} = B_{fТН} \cdot K_{ТН31} + C_{fТН} \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} Q_{ТН0,5} = B_{QТН} \cdot K_{ТН30,5} + C_{QТН} \\ Q_{ТН1} = B_{QТН} \cdot K_{ТН31} + C_{QТН} \end{cases} \quad (14)$$

Решение систем уравнений (13) и (14) позволяет найти коэффициенты аппроксимации погрешностей трансформатора напряжения.

В базу данных присоединений системы учета заносятся исходные данные. Для учета погрешностей, вносимых измерительными трансформаторами, необходимо вносить в базу данных также параметры электроэнергии (фазные токи присоединения, коэффициенты мощности). Поступающую информацию от счетчиков электрической энергии корректируют в соответствии с приведенными выше выражениями. Следует отметить, что для повышения точности использования данной методики число опросов параметров режима должно быть больше числа опросов показаний счетчиков.

#### Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 7746-2001. Межгосударственный стандарт. Трансформаторы тока. Общие технические условия.
2. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций /Б.Н. Неклепаев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 640 с.
3. ГОСТ 8.217-2003. Государственная система обеспечения единства измерений. Трансформаторы тока. Методика поверки.

#### Принятые условные обозначения

$W_{a_{ФАКТ}}$  – значение активной энергии с учетом погрешностей измерительных трансформаторов, Вт·ч;

$W_{p_{ФАКТ}}$  – значение реактивной энергии с учетом погрешностей измерительных трансформаторов, вар·ч;

$W_{a_{СЧ}}$  – показание счетчика активной энергии, Вт·ч;

$W_{p_{СЧ}}$  – показание счетчика реактивной энергии, вар·ч;

$K_I$  – коэффициент, учитывающий погрешность трансформатора тока;

$K_U$  – коэффициент, учитывающий погрешность трансформатора напряжения;

$\Delta\Phi_I$  – погрешность трансформатора тока, %;

$\Delta\Phi_U$  – погрешность трансформатора напряжения, %;

$f_{TT}$  – токовая погрешность трансформатора тока в зависимости от кратности первичного тока, %;

$Q_{TT}$  – угловая погрешность трансформатора тока в зависимости от кратности первичного тока, мин;

$f_{TH}$  – погрешность трансформатора напряжения по напряжению в зависимости от коэффициента загрузки по мощности, %;

$Q_{TH}$  – угловая погрешность трансформатора напряжения в зависимости от коэффициента загрузки по мощности, мин;

$A_{JTT}, B_{JTT}, C_{JTT}$  – коэффициенты аппроксимации зависимости токовой погрешности трансформатора тока от кратности первичного тока;

$A_{\Theta TT}, B_{\Theta TT}, C_{\Theta TT}$  – коэффициенты аппроксимации зависимости угловой погрешности трансформатора тока от кратности первичного тока;

$B_{JTH}, C_{JTH}$  – коэффициенты аппроксимации зависимости погрешности по напряжению трансформатора напряжения от коэффициента загрузки трансформатора напряжения по мощности;

$B_{\Theta TH}, C_{\Theta TH}$  – коэффициенты аппроксимации зависимости угловой погрешности трансформаторов напряжения от коэффициента загрузки трансформатора напряжения по мощности;

$\varphi$  – коэффициент мощности нагрузки;

$K_{THI}$  – кратность первичного тока трансформатора тока, отн. ед.;

$K_{THS}$  – коэффициент загрузки трансформатора напряжения по мощности (отношение фактической вторичной нагрузки трансформатора напряжения к номинальной) отн. ед.

### **ПРИМЕНЕНИЕ НА ПРАКТИКЕ ОПЫТА СНЯТИЯ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА МЕТОДОМ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛЛОГРАФИРОВАНИЯ**

**А.И. Власов**

*Белорусский теплоэнергетический институт, г. Минск*

Научный руководитель Е.П. Забелло

Межвитковые замыкания во вторичных цепях являются одним из наиболее распространенных видов повреждений трансформаторов тока. В [1], [2] описывается методика снятия вольтамперных характеристик (ВАХ) трансформаторов тока (ТТ) и выявления короткозамкнутых витков во вторичных обмотках. Описываемая схема подключения цифрового осциллографа (ЦО) и контролирующих измерительных приборов для снятия ВАХ ТТ (рис. 1а) применима в тех случаях, где для снятия характеристик в диапазоне вторичных токов от 0 до 120 % от номинального достаточно технических характеристик цифрового осциллографа и допустимо его непосредственное подключение к измеряемой цепи.