

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГУП
«ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
Н.И. Ханов
2015 г.



Трансформаторы тока электронные оптические ТТЭО с цифровым выходом

Методика поверки
МП 2203-0293-2015

и р 63877-16

Руководитель лаборатории
электроэнергетики ФГУП
"ВНИИМ им. Д.И. Менделеева"
Е.З. Шапиро
" " 2015 г.

г. Санкт-Петербург
2015 г.

Содержание

1 Введение	3
2 Нормативные ссылки	3
3 Операции поверки	3
4 Средства поверки.....	3
5 Требования к квалификации поверителей	5
6 Требования безопасности	5
7 Условия поверки.....	5
8 Подготовка к поверке.....	5
9 Проведение поверки.....	5
10 Оформление результатов поверки	13
Приложение А.....	14
Приложение Б.....	19
Приложение В.....	20

1 ВВЕДЕНИЕ

Настоящая методика поверки устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок трансформаторов тока электронных оптических ТТЭО с цифровым выходом, далее по тексту – ТТЭО.

Устройства подлежат поверке с периодичностью, устанавливаемой потребителем с учётом режимов и интенсивности эксплуатации, но не реже одного раза в восемь лет.

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей методике использованы нормативные ссылки на следующие стандарты: ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010 «Трансформаторы измерительные. Часть 8. Электронные трансформаторы тока»;

ГОСТ 7746-2001 «Трансформаторы тока. Общие технические условия».

ГОСТ 8.217-2003 «ГСИ. Трансформаторы тока. Методика поверки».

ГОСТ 12.1.019-2009 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

ГОСТ 12.2.007.0-75 «Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности».

ГОСТ 12.2.007.3-75 «Система стандартов безопасности труда. Электротехнические устройства на напряжение свыше 1000 В. Требования безопасности».

ГОСТ 12.3.019-80 «Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности».

РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения».

3 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

При проведении поверки выполняют операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование операции поверки	Номер пункта методики поверки	Необходимость выполнения	
		при первичной поверке	при периодической поверке
Внешний осмотр	9.1	Да	Да
Опробование	9.2	Да	Да
Проверка метрологических характеристик	9.3	Да	Да
Подтверждение соответствия программного обеспечения	9.4	Да	Да

4 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

При проведении поверки рекомендуется применять средства и вспомогательное оборудование, указанные в таблице 2.

Таблица 2

Наименование, обозначение	Требуемые характеристики	Пункты методики поверки
Источник постоянного тока Delta Elektronika SM 30-200	Выходное напряжение постоянного тока от 0 до 30 В с точностью установки ± 0.5 мВ, выходная сила постоянного тока от 0 до 200 А с точностью установки ± 12 мА.	п. 9.3
Нановольтметр/микроомметр типа 34420 А	Диапазон измерений 1 В, предел допускаемой абсолютной погрешности измерения $\pm [0,000035D + 0,000004E]$ В.	п. 9.3
Частотомер типа 53220А	Характеристики в соответствии с описанием типа, ГР № 51077-12.	п. 9.3
Стенд испытательный автоматизированный постоянного тока СИ-DC	Управляемая выдача постоянного тока с автоматическим переключением диапазонов нагрузочных соленоидов. Диапазон воспроизводимых токов 0 – 30 кА/м. С автоматической регистрацией эталонного значения тока, результатов измерения по частотным, импульсным, цифровым, аналоговым выходам, дисплею ТТЭО и вычислением значения погрешности и неопределенности измерения.	п. 9.3
Устройство синхронизации типа ССВ-1Г	Характеристики в соответствии с описанием типа, ГР № 58670-14.	п. 9.3
Шунт токовый типа АКИП-7501	Характеристики в соответствии с описанием типа, ГР № 49121-12.	п. 9.3
Источник тока регулируемый ИТР-15К	Диапазон воспроизведения силы переменного тока от 0 до 20 кА, нестабильность не более 0,5 %.	п. 9.3
Трансформатор тока измерительный лабораторный ТТИ-5000.51	Класс точности 0,01, ОСИ 1-го разряда.	п. 9.3
Трансформатор тока измерительный лабораторный ТТИ-200	Относительная токовая погрешность 0,01%.	п. 9.3
Прибор сравнения КНТ-05(КНТ-03)	Характеристики в соответствии с описанием типа, ГР № 37854-08 (24719-03).	п. 9.3
Магазин нагрузок МР 3027	Характеристики в соответствии с описанием типа, ГР № 34915-07.	п. 9.3
Прибор электроизмерительный эталонный многофункциональный Энергомонитор-3.1 КМ	Абсолютная токовая погрешность ИТТ $\pm 0,002\%$; угловая абсолютная погрешность ИТТ $\pm 0,01$ мин.	п. 9.3
Установка поверочная векторная компарирующая типа «УПВК-МЭ 61850»	Абсолютная погрешность $\pm 0,02$ %.	п. 9.3
Измеритель параметров микроклимата Метеоскоп-М	Характеристики в соответствии с описанием типа, ГР № 32014-11.	п. 6
Примечание: Допускается использование других средств поверки обеспечивающих измерение соответствующих параметров с требуемой точностью.		

5 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ

К проведению поверки допускают лица, аттестованные в качестве поверителей средств измерений электрических величин.

Поверитель должен пройти инструктаж по технике безопасности и иметь действующее удостоверение на право работы в электроустановках с напряжением свыше 1000 В с квалификационной группой по электробезопасности не ниже III.

6 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

5.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования безопасности, установленные ГОСТ 12.3.019-80, ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ 12.2.007.3, «Правилами техники безопасности, при эксплуатации электроустановок потребителей», «Межотраслевыми правилами по охране труда (правилами безопасности) при эксплуатации электроустановок». Соблюдают также требования безопасности, изложенные в эксплуатационных документах на устройство и применяемые средства измерений.

5.2 Средства поверки, которые подлежат заземлению, должны быть надежно заземлены. Подсоединение зажимов защитного заземления к контуру заземления должно производиться ранее других соединений, а отсоединение – после всех отсоединений.

5.3 Должны также быть обеспечены требования безопасности, указанные в эксплуатационных документах на средства поверки.

7 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия применения:

- температура окружающего воздуха от 20 ± 5 °С;
- относительная влажность воздуха не более 80 %;
- атмосферное давление от 80 до 106,7 кПа;

8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ

Перед проведением поверки необходимо выполнить следующие подготовительные работы:

- провести технические и организационные мероприятия по обеспечению безопасности проводимых работ в соответствии с действующими положениями ГОСТ 12.2.007.0-75;
- выдержать установку в условиях окружающей среды, указанных в п.6, не менее 4 ч, если она находилась в климатических условиях, отличающихся от указанных в п.6;
- подготовить к работе средства поверки, используемые при поверке, в соответствии с руководством по эксплуатации ТТЭО (все средства измерений должны быть исправны и поверены).

9 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

9.1 Внешний осмотр.

При проведении внешнего осмотра ТТЭО проверяют:

- соответствие комплектности перечню, указанному в паспортах трансформаторов;
- соответствие серийного номера указанному в паспорте;
- маркировку и наличие необходимых надписей на наружных панелях;
- разборные контактные соединения должны иметь маркировку, а резьба винтов и гаек должна быть исправна;

- на корпусе трансформаторов не должно быть трещин, царапин, забоин, сколов;
- соединительный провод не должен иметь механических повреждений;
- отдельные части трансформаторов должны быть прочно закреплены.

Результат внешнего осмотра считают положительным, если комплектность и серийный номер соответствуют указанным в паспорте, маркировка и надписи на наружных панелях соответствуют эксплуатационной документации, а также отсутствуют механические повреждения, способные повлиять на работоспособность ТТЭО.

9.2 Опробование.

1) Подключить персональный компьютер (далее по тексту – ПЭВМ) к выходным интерфейсам ТТЭО.

2) Включить ТТЭО (подать питание) и ПЭВМ, убедиться во включении подсветки индикатора (в течение 2-3 секунд происходит загрузка программного обеспечения).

3) При успешном окончании процесса загрузки внутреннего программного обеспечения преобразователя загорается зеленый светодиод (Норма).

4) Убедиться в приеме на ПЭВМ сигналов с выходных интерфейсов, соответствующих показаниям индикатора ТТЭО.

Результаты проверки считают положительным, если после подачи питания на ТТЭО включилась подсветка индикатора и появилась на нем соответствующая надпись, загорелся зеленый светодиод (Норма) и при отсутствии силы постоянного тока показания преобразователя близки к нулевым значениям.

9.3 Проверка метрологических характеристик.

9.3.1 Определение погрешности коэффициента масштабного преобразования силы постоянного тока (для выхода 1 А, а так же для выхода 61850) проводится в следующей последовательности:

1. Собирают схему подключений согласно рисунку 1.

Для проверки ТТЭО в данной схеме используются соленоиды (см. приложение Б), включенные последовательно и подключаемые к источнику постоянного тока Delta Elektronika SM 30-200 (далее по тексту – источник).

Примечание:

Соленоид состоит из медного провода с поперечным сечением не менее 4 мм². Количество витков на одном соленоиде должно составлять 800 витков.

2. Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника питания в соответствии с таблицей 3. Выходную силу постоянного тока рассчитывают, снимая показания с нановольтметра/микроомметра 34420 А (далее по тексту – 34420А), подключенного к шунту АК ИП-7501, по формуле (1):

$$I = \frac{U}{R} \cdot N \quad (1)$$

Где U – измеренное значение напряжение постоянного тока с помощью 34420 А; R – номинальное сопротивление шунта АК ИП-7501; N – число витков в соленоидах (см. приложение Б).

3. В зависимости от номинального первичного тока поверяемого ТТЭО устанавливают соответствующие количество витков чувствительного элемента проходящих через соленоиды.

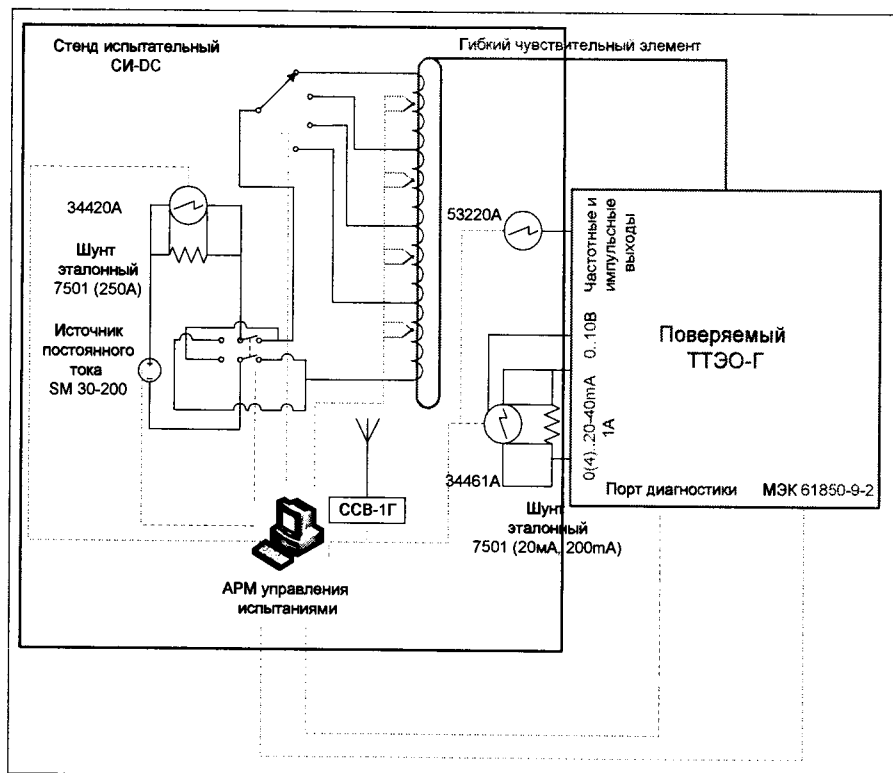


Рисунок 1. Схема для определения погрешности коэффициента масштабного преобразования силы постоянного тока.

4. Измеряют значения силы постоянного тока с помощью шунта, мультиметра 3458A из состава УПВК-МЭ 61850 (выход 1 А ТТЭО) и УПВК-МЭ 61850 (выход 61850 ТТЭО). Рассчитывают относительную погрешность по формуле (2):

$$\delta X = \frac{X_{и} - X}{X} \cdot 100\% \quad (2)$$

где X – установленное значение силы постоянного тока, получаемое по формуле (1);

$X_{и}$ – значение силы постоянного тока измеренное с помощью ТТЭО и АРМ УПВК-МЭ 61850.

Таблица 3

№ п.п.	Процент от номинального первичного тока, %
1	1
2	5
3	20
4	100
5	120

Результаты испытания считают удовлетворительными, если погрешность коэффициента масштабного преобразования силы постоянного тока (для выхода 1 А, а так же для выхода 61850) находится в пределах, указанные в приложении А.

9.3.2 Определение погрешности коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига силы переменного тока (для выхода 1 А) проводится в следующей последовательности:

1. Собирают схему подключений согласно рисунку 2.
2. Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника в соответствии с таблицей 3.
3. В зависимости от номинального первичного тока поверяемого ТТЭО устанавливают соответствующие количество витков чувствительного элемента.

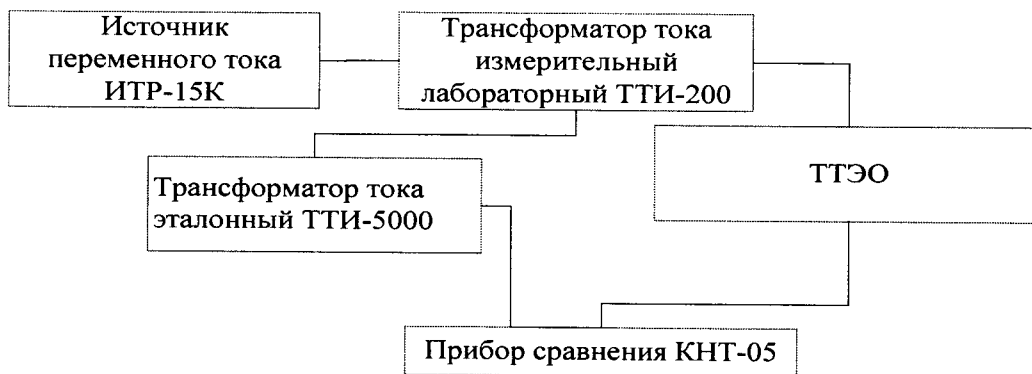


Рисунок 2. Схема для определения погрешности коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига силы переменного тока

4. Получают значения погрешности коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига с прибора сравнения КНТ-05.

Результаты испытания считают удовлетворительными, если погрешность коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига силы переменного тока (для выхода 1 А) находятся в пределах, указанных в приложении А и п. 6.9; 6.4.2 ГОСТ 7746-2001.

9.3.4 Определение погрешности коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига силы переменного тока (для выхода 61850) проводится в следующей последовательности:

1. Собирают схему подключений согласно рисунку 3.
2. Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника в соответствии с таблицей 3.
3. В зависимости от номинального первичного тока поверяемого ТТЭО устанавливают соответствующее количество витков чувствительного элемента.

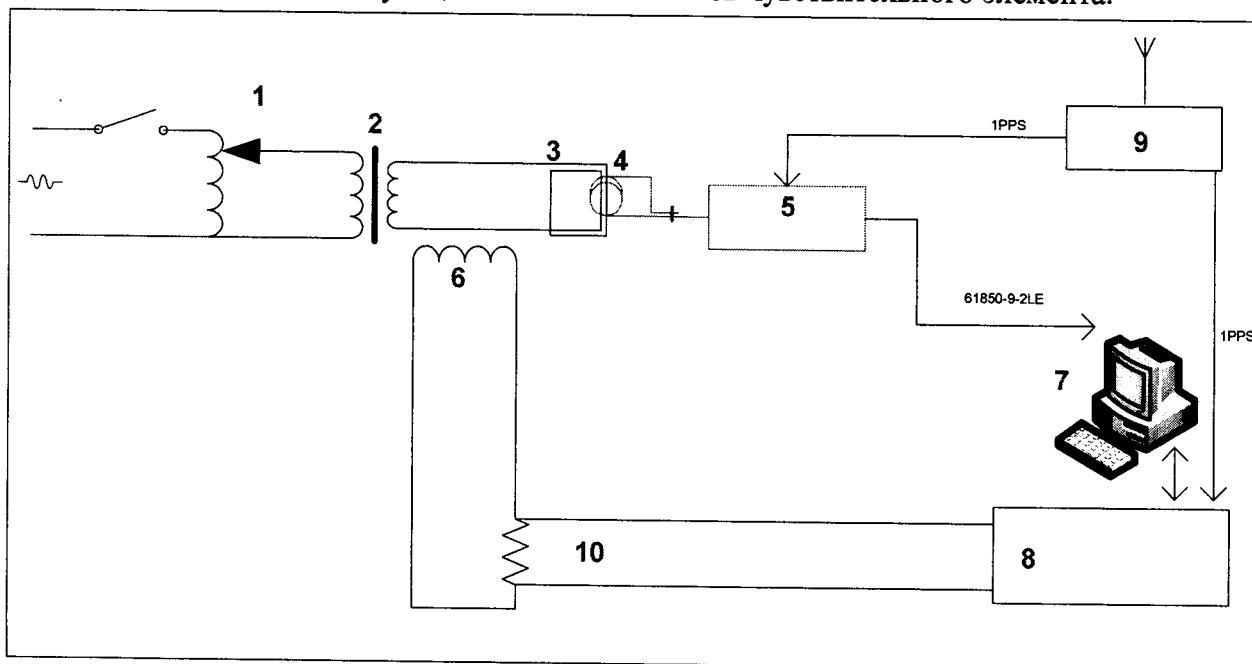


Рисунок 3 - Структурная схема испытательного стенда

Таблица 4. Состав приборов испытательного стенда

№	Прибор
1	ЛАТР
2	Нагрузочный трансформатор
3	Первичная обмотка тока ТТЭО
4	Чувствительный элемент ТТЭО
5	ЭОБ ТТЭО производство Профотек
6	Эталонный трансформатор тока
7	АРМ УПК-МЭ 61850
8	Мультиметр 3458А
9	Источник точного времени ССВ-1Г
10	Шунт эталонный безреактивный

Получают значения погрешности коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига силы переменного тока (для выхода 61850) с АРМ УПК-МЭ 61850.

Результаты испытания считают удовлетворительными, если погрешность коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига силы переменного тока (для выхода 61850) находится в пределах, указанные в приложении А.

9.3.5 Определение допускаемой погрешности коэффициента преобразования силы переменного и постоянного тока (для потенциального выхода) проводится в следующей последовательности:

1. Собирают схему подключений согласно рисунку 1 (для силы постоянного тока) и схему по рисунку 4 (для силы переменного тока).



Рисунок 4. Схема для определения погрешности коэффициента преобразования силы переменного и постоянного тока

2. Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника в соответствии с таблицей 3.

3. В зависимости от номинального первичного тока поверяемого ТТЭО устанавливают соответствующие количество витков чувствительного элемента.

4. Вычисляют значение силы электрического тока с помощью показаний ТТЭО и Энергомонитора 3.1 или мультиметра 34461А по формуле (3):

$$X_n = \frac{M_k}{U_1} \quad (3)$$

где M_k – коэффициенты масштабного преобразования потенциального выхода каналов, используемые в зависимости от конфигурации ТТЭО;

U_1 – измеренное значение постоянного напряжения на потенциальном выходе ТТЭО с помощью Энергомонитора 3.1 или мультиметра 34461А.

5. Рассчитывают относительную погрешность коэффициента масштабного преобразования для потенциального выхода по формуле (4):

$$\delta X = \frac{X_n - X}{X} \cdot 100\% \quad (4)$$

где X – установленное значение силы постоянного тока, получаемое по формуле (1) и по формуле (5);

X_n – измеренное значение силы электрического тока полученное по формуле (3).

$$I = K_{\text{ТТИ}} \cdot I_{\text{ЭМ}}, \quad (5)$$

где $K_{\text{ТТИ}}$ коэффициент трансформации трансформатора тока эталонного ТТИ-5000;

$I_{\text{ЭМ}}$ – установленное значение силы электрического тока с помощью Энергомонитора 3.1КМ.

Результаты испытания считают удовлетворительными, если погрешность коэффициента масштабного преобразования для потенциального выхода находятся в пределах, указанные в приложении А.

9.3.6 Определение допускаемой погрешности коэффициента преобразования силы переменного и постоянного тока (для частотного выхода) проводится в следующей последовательности:

1 Собирают схему подключений согласно рисунку 1 (для силы постоянного тока) и схему по рисунку 5 (для силы переменного тока).



Рисунок 5. Схема для определения погрешности коэффициента преобразования силы переменного и постоянного тока

2 Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника в соответствии с таблицей 3.

3 В зависимости от номинального первичного тока поверяемого ТТЭО устанавливают соответствующее количество витков чувствительного элемента.

4 Вычисляют значение силы электрического тока с помощью показаний ТТЭО и частотомера 53220А по формуле (6):

$$X = \frac{M_k}{f_1} \quad (6)$$

где M_k – коэффициенты масштабного преобразования частотного выхода каналов, используемые в зависимости от конфигурации ТТЭО;

f_1 – измеренное значение частоты на частотном выходе ТТЭО с помощью частотомера 53220А.

5 Рассчитывают относительную погрешность коэффициента преобразования для частотного выхода по формуле (7):

$$\delta X = \frac{X_n - X}{X} \cdot 100\% \quad (7)$$

где X – установленное значение силы электрического тока, получаемое по формуле (1) и по формуле (5);

X_n – измеренное значение силы электрического тока полученное по формуле (6).

Результаты испытания считают удовлетворительными, если погрешность коэффициента преобразования для частотного выхода находятся в пределах, указанные в приложении А.

9.3.7 Определение допускаемой погрешности коэффициента преобразования силы переменного и постоянного тока (для импульсного выхода) проводится в следующей последовательности:

1 Собирают схему подключений согласно рисунку 1 (для силы постоянного тока) и схему по рисунку 5 (для силы переменного тока).

2 Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника в соответствии с таблицей 3. Время измерения контролируют с помощью секундомера механического Сопр-26-2-000 (далее по тексту – секундомер). Цифровым осциллографом определяют параметры выходного сигнала с импульсного выхода. Измеренные параметры сигнала не должны превышать указанные в таблице 5.

Таблица 5

Импульсный выходной канал № 4	
Амплитуда импульсов, В	12 ± 1
Длительность импульса, мс	125 ± 5

3 В зависимости от номинального первичного тока поверяемого ТТЭО устанавливают соответствующие количество витков чувствительного элемента.

4 Вычисляют значение силы электрического тока с помощью показаний ТТЭО и частотомера по формуле (8):

$$X = \frac{M_k \cdot t_{изм}}{f_1} \quad (8)$$

где M_k – коэффициенты масштабного преобразования частотного (импульсного) выхода каналов, используемые в зависимости от конфигурации ТТЭО;

f_1 – измеренное значение частоты на импульсном выходе ТТЭО с помощью частотомера;

$t_{изм}$ – измеренное значение времени с помощью секундомера.

5 Рассчитывают относительную погрешность коэффициента масштабного преобразования для импульсного выхода по формуле (9):

$$\delta X = \frac{X_n - X}{X} \cdot 100\% \quad (9)$$

где X – установленное значение силы электрического тока, получаемое по формуле (1) и по формуле (5);

X_n – измеренное значение силы электрического тока полученное по формуле (8).

Результаты испытания считают удовлетворительными, если погрешность коэффициента преобразования для импульсного выхода находятся в пределах, указанные в приложении А.

9.3.8 Определение погрешности коэффициента масштабного преобразования силы переменного и постоянного тока (для токового выхода 4-40 мА) проводится в следующей последовательности:

1 Собирают схему подключений согласно рисунку 1 (для силы постоянного тока) и схему по рисунку 6 (для силы переменного тока).



Рисунок 6. Схема для определения погрешности коэффициента преобразования силы переменного и постоянного тока

2 Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника в соответствии с таблицей 2.

3 В зависимости от номинального первичного тока поверяемого ТТЭО устанавливают соответствующее количество витков чувствительного элемента.

4 Вычисляют значение силы электрического тока с помощью показаний ТТЭО и мультиметра по формуле (10):

$$X = \frac{M_k}{I_1} \quad (10)$$

где M_k – коэффициенты масштабного преобразования токового выхода 4-40 мА, используемые в зависимости от конфигурации ТТЭО;

I_1 – измеренное значение силы постоянного тока на токовом выходе 4-40 мА ТТЭО.

5 Рассчитывают относительную погрешность коэффициента масштабного преобразования для токового выхода 4-40 мА по формуле (11):

$$\delta X = \frac{X_n - X}{X} \cdot 100\% \quad (11)$$

где X – установленное значение силы электрического тока, получаемое по формуле (1) и по формуле (5);

X_n – измеренное значение силы электрического тока полученное по формуле (10).

Результаты испытания считают удовлетворительными, если погрешность коэффициента масштабного преобразования для токового выхода 4-40 мА находятся в пределах, указанные в приложении А.

9.4 Подтверждение соответствия программного обеспечения

9.4.1 Подтверждение соответствия программного обеспечения (ПО) ТТЭО должно выполняться путем контроля идентификационных данных программного обеспечения:

- наименования метрологически значимых частей ПО;
- версии метрологически значимых частей ПО;
- контрольных сумм метрологически значимых частей ПО.

Идентификационные данные метрологически незначимых частей являются справочными и контролю не подлежат.

9.4.2 Идентификацию ПО производить следующим образом:

- произведите подготовку ТТЭО к работе согласно руководству по эксплуатации;
- включите ТТЭО.

Выполнить проверку подлинности и целостности программного кода.

Для этого необходимо зайти в подменю «информация о ПО». В открывшемся диалоговом окне отобразятся контрольные суммы.

Значения отображенных сумм должны соответствовать значениям, указанным в описании типа на ТТЭО.

10 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

Результаты проверок ТТЭО оформляют путем записи в протоколе поверки. Рекомендуемая форма протокола представлен в приложении В.

При положительных результатах поверки на паспорт-формуляр ТТЭО наносится знак поверки или выдается свидетельство о поверке в соответствии с Приказом № 1815 от 20.07.2015г..

При отрицательных результатах поверки ТТЭО признается непригодной к применению и на него выписывается извещение о непригодности в соответствии с Приказом № 1815 от 20.07.2015г. с указанием причин.

Приложение А
Метрологические и технические характеристики

Таблица А1 - Диапазоны и пределы допускаемых основных погрешностей преобразования силы переменного тока

Характеристика	Значение
Номинальное фазное напряжение переменного тока, кВ ТТЭО-110 ТТЭО-220 ТТЭО-Г и ТТЭО-Ш	110/ $\sqrt{3}$ кВ
	220/ $\sqrt{3}$ кВ
	от 0 до 750 кВ
Номинальный первичный ток $I_{ном}$, А* ТТЭО-110, ТТЭО-220 и ТТЭО-Ш; ТТЭО-Г	от 100 до 3000
	от 300 до 190000
Номинальный вторичный ток для аналогового выхода внешнего цифро-аналогового преобразователя, А	1
Классы точности по ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010 (При коэффициенте искажения синусоидальной кривой не более 30 %)	0,1; 0,2S; 0,5S; 1,0; 5P; 5TPE
Номинальная нагрузка на аналоговом выходе внешнего цифро-аналогового преобразователя $S_{2ном}$ (коэффициент мощности $\cos\varphi=1$), В·А	от 1 до 15
Номинальная частота измеряемого тока, Гц	50
Номинальный коэффициент расширенного первичного тока	от 1,2 до 2,0 для аналоговых выходов от 1,2 до 8,0 для цифровых выходов
Количество измеряемых фаз	от 1 до 3 **
<p>Примечание:</p> <p>* Значение номинального тока зависит от количества оборотов гибкого чувствительного элемента вокруг токоведущей шины, числа оборотов токоведущей шины вокруг чувствительного элемента и настроек прибора. Точное число витков чувствительного элемента для получения заданного номинального тока указывается в паспорте на прибор. Прибор допускает снижение номинального тока относительно указанных значений путем кратного (допускается только целое число витков) увеличения оборотов токоведущей шины вокруг чувствительного элемента, при этом механические, термические и динамические показатели использованной для таких целей шины должны быть подтверждены соответствующими расчетами при проектировании;</p> <p>** Количество зависит от варианта исполнения.</p>	

Таблица А2 - Диапазоны и пределы допускаемых основных погрешностей преобразования силы постоянного тока

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение постоянного тока, кВ ТТЭО-110 ТТЭО-220 ТТЭО-Г и ТТЭО-Ш	100 кВ
	200 кВ
	от 0 до 1000 кВ
Номинальное значение первичной силы постоянного тока $I_{ном}$, А* ТТЭО-110, ТТЭО-220 и ТТЭО-Ш; ТТЭО-Г	от 100 до 6000
	от 200 до 450000
Номинальный вторичный ток для аналогового выхода внешнего цифро-аналогового преобразователя, А	1
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений коэффициента масштабного преобразования силы постоянного тока, %	$\pm 0,1; \pm 0,2; \pm 0,5; \pm 1,0$
Номинальная нагрузка на аналоговом выходе внешнего цифро-аналогового преобразователя тока, В·А	от 1 до 15
Количество измеряемых линий для постоянного тока	1 – 3 **
Примечание: * Значение номинального тока зависит от количества оборотов гибкого чувствительного элемента вокруг токоведущей шины, числа оборотов токоведущей шины вокруг чувствительного элемента и настроек прибора. Точное число витков чувствительного элемента для получения заданного номинального тока указывается в паспорте на прибор. Прибор допускает снижение номинального тока относительно указанных значений путем кратного (допускается только целое число витков) увеличения оборотов токоведущей шины вокруг чувствительного элемента, при этом механические, термические и динамические показатели использованной для таких целей шины должны быть подтверждены соответствующими расчетами при проектировании; ** Количество зависит от варианта исполнения.	

Таблица А3 – Диапазоны и пределы допускаемых основных погрешностей преобразования силы переменного и постоянного тока для измерительных выходов

Характеристика	Значение
1	2
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений коэффициента масштабного преобразования силы постоянного и переменного тока для дополнительных выходов, %	$\pm 0,1; \pm 0,2; \pm 0,5; \pm 1,0$
Число встроенных потенциального выходов	до 3 *
Номинальное напряжение потенциального выхода, В	от 0,05 до 10
Максимальное сопротивление вторичной цепи потенциального выхода, кОм	400
Число встроенных низкоуровневых токовых выходов	до 3 *
Номинальный вторичный ток встроенного низкоуровневого токового выхода, мА	от 4 до 40

Продолжение таблицы А3.

1	2
Максимальное сопротивление вторичной цепи встроенного низкоуровневого токового выхода, Ом	50
Число встроенных частотных выходов	до 3 *
Номинальный коэффициент преобразования встроенных частотных выходов, Гц/кА	от 1 до 150 000
Минимальное сопротивление вторичной цепи частотных выходов, Ом	100
Число встроенных интегрирующих импульсных выходов	до 3 *
Номинальное значение интегрирующего импульсного выхода, кА·с	1-400
Минимальное сопротивление вторичной цепи импульсного выхода, Ом	100
Число встроенных Modbus выходов	до 3 *
Период обновления данных на низкоуровневых частотных, импульсных, токовых и Modbus портах передней панели, мс	от 100 до 3000
Частота дискретизации по выходу "МЭК 61850-9-2", выборки в секунду	4000, 12800 (стандартно) 1000, 2000, 16000, 32000, 64000 (специальное исполнение)
Количество одновременно передаваемых потоков по выходу "МЭК 61850-9-2" с различной частотой дискретизации	1; 2; 3 (специальное исполнение)
Пределы допустимой относительной погрешности измерений силы постоянного и переменного тока для выходов "МЭК 61850-9-2", %	$\pm 0,1$; $\pm 0,2$; $\pm 0,5$; $\pm 1,0$ для постоянного тока 0,1; 0,2S; 0,5S; 1,0; 5P; 5TPE для переменного тока
Тип входа синхронизации времени	1PPS оптический (спад/фронт), разъем ST MM 1PPS электрический (спад/фронт), разъем BNC PTP
Период удержания частоты при отсутствии внешней синхронизации, с, не менее	20
Примечание: * Количество и тип выходов зависит от варианта исполнения.	

Таблица А4 – Технические характеристики трансформаторов тока электронных оптических с цифровым выходом ТТЭО

Характеристика	Значение		
1	2		
Диапазон пропускания частот при сохранении класса точности, Гц	от 0 до 9000*		
Номинальное время активации, мкс, не более	16		
Номинальный ток активации, не более	0,3 % от I _{ном}		
Рабочие условия применения, °С	Чувствительный элемент	УХЛ1 (ГОСТ 15150-69) или специальный (в диапазоне от минус 60 до плюс 60)	
	Электронные блоки	от минус 10 до плюс 40	
Относительная влажность воздуха, %	от 10 до 95		
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	от 60 до 106,7 (от 460 до 800)		
Группа механического исполнения – М29 по ГОСТ 17516.1-90	Исп.	Электронные блоки	Чувствительный элемент
	ТТЭО-110	М40	М40
	ТТЭО-220		
	ТТЭО-Ш		
ТТЭО-Г		М5	
Высота над уровнем моря, м не более	1000		
Окружающая атмосфера	Не взрывоопасная, не содержащая токопроводящую пыль и агрессивные газы, типа II по ГОСТ 15150-69.		
Нагрузка от тяжения провода, Н	Исполнение	Допустимая нагрузка	
	ТТЭО-110	2000	
	ТТЭО-220	2000	
	ТТЭО-Ш	2000	
	ТТЭО-Г	Не допускается приложение усилий к чувствительному элементу	
Рабочее положение первичных датчиков тока	ТТЭО-110 ТТЭО-220	Вертикальное с отклонением не более 30 градусов	
	ТТЭО-Ш ТТЭО-Г	Любое	
Длина соединительного кабеля, м	от 20 до 1200		
Длина чувствительного элемента для исполнения ТТЭО-Г, м	от 1 до 40		
Примечание:			
* Нижняя частота пропускания не ограничена (постоянный ток), верхняя частота – в соответствии со спецификацией договора поставки.			

Продолжение таблицы А4.

1	2	
Напряжение питания измерительного блока, В	Исполнение с одним источником питания	220±44 Переменного или постоянного тока без резервирования
	Исполнение с двумя источниками питания	220±44 Переменного или постоянного тока с резервированием
	Исполнение с источником питания для ответственных присоединений	220±44 Переменного или постоянного тока с резервированием и возможностью горячей замены элементов и резервирования от кратковременных пропадания напряжения длительностью до 2 секунд
Номинальная частота питающей сети, Гц	50	
Потребляемая мощность электронного блока, Вт, не более	150	
Потребляемая мощность электронного блока ЦАП Т, Вт, не более	200	
Габаритные размеры электронных блоков (Д×Ш×В), мм, не более	390×465×220 (3U + оптический кросс)	
Габаритные размеры высоковольтной колонны ТТЭО-110 (Д×Ш×В), мм, не более	650×355×1900	
Габаритные размеры высоковольтной колонны ТТЭО-220 (Д×Ш×В), мм, не более	660×500×3000	
Габаритные размеры чувствительного элемента ТТЭО-Ш (Д×Ш×В), мм, не более	650×355×400	
Масса электронного блока ТТЭО, кг, не более	12	
Масса электронного блока ЦАП Т, кг, не более	15	
Масса высоковольтной колонны ТТЭО-110, кг, не более	62	
Масса высоковольтной колонны ТТЭО-220, кг, не более	120	
Масса чувствительного элемента ТТЭО-Ш, кг, не более	10	
Средний срок службы, лет	25	
Наработка на отказ, ч, не менее	120000	
Примечание: * Наличие и тип выходов зависит от варианта исполнения.		

Приложение Б
(обязательное)

Обоснование методики проверки с использованием соленоидов

В основе измерения тока ТТЭО лежит использование эффекта Фарадея. Эффект Фарадея вызывает сдвиг фаз $\Delta\varphi$ между циркулярными световыми модами в отрезке чувствительного волокна dl , находящемся в магнитном поле измеряемого электрического тока согласно формуле:

$$\Delta\varphi = 2 \cdot \int_0^L V(\vec{B}, d\vec{l}) \quad (\text{Б.1})$$

где (B, dl) – проекция индукции магнитного поля B , обусловленного протекающим током, на элемент длины волокна, умноженная на этот элемент, V – константа Верде, L – длина волокна.

При измерении чувствительное волокно ТТЭО замыкают в контур, охватывающем медные витки соленоидов с током, для того чтобы исключить паразитные сигналы. В этом случае с учетом двойного прохождения световых волн по волоконному контуру сдвиг фаз $\Delta\varphi$ пропорционален циркуляции магнитного поля H по замкнутому волоконному контуру:

$$\Delta\varphi = 4V \oint (\vec{B}, d\vec{l}) = 4V\mu_0 \oint (\vec{H}, d\vec{l}) \quad (\text{Б.2})$$

Если чувствительный элемент имеет N_f волоконных контуров (витков), то выражение для сдвига фаз $\Delta\varphi$ имеет вид:

$$\Delta\varphi = 4V \oint (\vec{B}, d\vec{l}) = 4V\mu_0 N_f \oint (\vec{H}, d\vec{l}) \quad (\text{Б.3})$$

На основании уравнения Максвелла (теорема о циркуляции вектора магнитного поля) циркуляция вектора H по произвольному замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов, пересекающих произвольную поверхность замыкаемую на этот контур:

$$\oint (\vec{H}, d\vec{l}) = \sum_{i=1}^N I_i \quad (\text{Б.4})$$

В используемой для проверки ТТЭО схеме чувствительное волокно проходит внутри нескольких соленоидов и замыкает контур вне этих соленоидов. Провода (медные витки) с одним и тем же током I_{ex} пересекут плоскость контура столько раз, каково суммарное число витков в этих соленоидах. Тогда:

$$\sum_{i=1}^N I_i = I_{ex} N_k n \quad (\text{Б.5})$$

I_{ex} – значение силы постоянного тока установленной с источника и контролируемая с помощью катушки Р310 и вольтметра Agilent 34420 А;

N_k – количество токовых катушек;

n – количество витков в одной токовой катушке ($n=800$).

И выражение (3) можно записать следующим образом:

$$\Delta\varphi = 4 \cdot V \cdot \mu_0 \cdot N_f \cdot I_{ex} \cdot N_k n \quad \text{или} \quad \Delta\varphi = 4 \cdot V \cdot \mu_0 \cdot N_f \cdot I_{экв}, \quad (\text{Б.6})$$

$$\text{где } I_{экв} = I_{ex} \cdot N_k \cdot n \quad (\text{Б.7})$$

– эквивалентная сила постоянного тока, позволяющая с помощью соленоида проверять ТТЭО, используя токи I_{ex} меньших значений.

Приложение В
(рекомендуемое)

Протокол (первичной) поверки № _____

от _____

1 Поверяемый прибор:

Трансформатор тока электронных оптических ТТЭО с цифровым выходом исполнения ТТЭО-_____

класс точности _____

Заводской № _____

год выпуска _____

Номинальный ток: _____

Поверка проводилась по МП 2203-0293-2015

2 Эталонные средства измерений применяемые при поверке: _____

3 Условия поверки:

- температура _____ °С
- отн. влажность _____ %
- атм. давление _____ мм.рт.ст.

4 Результаты поверки:

Результаты определения погрешностей

Номинальный ток, А	Нагрузка поверяемого трансформатора тока, ВА	Значение первичного тока, % от номинального значения	Погрешность поверяемого трансформатора			
			Δf , %		$\Delta \varphi$, мин	
			факт.	допуск	факт.	допуск
		120				
		100				
		20				
		5				
		1				

5 Заключение: _____

Поверитель _____