

СОГЛАСОВАНО

Руководитель

испытательного центра

ФГУП «ВНИИМС»

И.В. Иванникова

2021 г.



Трансформаторы тока электронные оптические типа ТТЭО

Методика поверки
МП 206.1/047-2021

Начальник отдела 206.1
ФГУП «ВНИИМС»

С.Ю. Рогожин

« 25 » июня 2021 г.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large loop and a vertical stroke, positioned over the name 'С.Ю. Рогожин'.

г. Москва
2021 г.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая методика поверки устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок трансформаторов тока электронных оптических типа ТТЭО (далее – ТТЭО).

Настоящая методика поверки обеспечивает прослеживаемость к ГЭТ 88-2014 и к ГЭТ 181-2010.

Реализацию методики поверки обеспечивает метод сравнения с мерой.

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

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

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	0	Да	Да
Опробование	9.2	Да	Да
Проверка метрологических характеристик ТТЭО, предназначенных для измерения постоянного тока, оснащенных аналоговыми выходами	9.3.1 9.3.6	Да	Да
Проверка метрологических характеристик ТТЭО, предназначенных для измерения постоянного тока, оснащенных цифровыми выходами	9.3.2	Да	Да
Проверка метрологических характеристик ТТЭО, предназначенных для измерения переменного тока	9.3.3	Да	Да
	9.3.4		Нет
	9.3.5		Да
Проверка метрологических характеристик ТТЭО, предназначенных для измерения напряжения переменного тока	9.3.7	Да	Да
Подтверждение соответствия программного обеспечения	9.4	Да	Да

3 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

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

Таблица 2

Наименование, обозначение	Требуемые характеристики	Пункты методики поверки
---------------------------	--------------------------	-------------------------

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
Источник тока регулируемый ИТ5000	Выходной регулируемый однофазный синусоидальный ток от 0.05 до 6000 А	п.9.3
Установка измерительная для прогрузки первичным током РЕТОМ-30КА	Выходной регулируемый однофазный синусоидальный ток до 30000 А	п.9.3
Трансформатор тока измерительный лабораторный ТТИ-5000.51	Диапазон первичного тока: от 0,5 до 5000 А, класс точности 0,01	п.9.3
Трансформатор тока измерительный лабораторный ТТИ-200	Диапазон первичного тока: от 20 до 36000 А, класс точности 0,01	п.9.3
Вольтметр универсальный 34461А	Диапазон измерения силы постоянного тока (0 – 100) мА, предел допускаемой основной абсолютной погрешности измерения $\pm (0,01 \cdot 10^{-2} \cdot I_{изм} + 0.0004)$	п.9.3
Нановольтметр/микроомметр 34420А	Диапазон измерения напряжения постоянного тока (0 – 100) В, допускаемая основная относительная погрешность измерения $\pm (0,005 \% \cdot U_{изм} + 0,002 \% \cdot U_{предел})$	п.9.3
Частотомер 53220А	Диапазон измерения частот (0,001 – 1000) МГц, пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения $\pm 1 \cdot 10^{-7}$ Гц	п.9.3
Установка поверочная векторная компарирующая УПК-МЭ 61850	Среднеквадратическое значение напряжения переменного тока $\pm 0,01\%$ Угол фазового сдвига $\pm 0,0054 \cdot (f/50)^\circ$	п.9.3
Источник точного времени ССВ-1Г	Точность привязки импульса 1PPS к шкале UTC (SU) ± 110 нс	п.9.3
Шунт токовый АКПП-7501	Независимые шунты 20 мА – 250 А, класс точности 0.01	п.9.3
Осциллограф цифровой TDS 210	Диапазон коэффициента развертки составляет от 5 нс/дел до 5 с/дел, пределы допускаемой основной относительной погрешности коэффициента развертки $\pm 0,01\%$.	п.9.3
Магазин нагрузок МР 3027	Характеристики в соответствии с описанием типа, ГР № 34915-07.	п.9.3

Наименование, обозначение	Требуемые характеристики	Пункты методики поверки
Прибор электроизмерительный эталонный многофункциональный Энергомонитор-3.1 КМ	Абсолютная погрешность напряжения ИТТ $\pm 0,002\%$; угловая абсолютная погрешность ИТТ $\pm 0,1$ мин.	п.9.3
Стенд испытательный токов короткого замыкания (СИ-ТКЗ)	Генерация токов затухающей синусоидальной формы с заданной амплитудой от 1 до 260 кА первой полуволны	п.9.3
Трансформатор тока электронный оптический ТТЭО эталонный	Номинальный первичный ток (постоянный DC): 450 кА Номинальный первичный ток (переменный AC): 190 кА Класс точности 0,05	п.9.3
Секундомер электронный Интеграл С-01	Дискретность измеряемых интервалов времени: 0,01 с Погрешность: $\pm (9,6 \cdot 10^{-6} \cdot T_x + 0,01)$ с	п.9.3
Измеритель параметров микроклимата Метеоскоп-М	Характеристики в соответствии с описанием типа, ГР № 32014-11.	п.7
Калибратор многофункциональный CALIBRO 142	Диапазон напряжений: от 0 до 1000 В	п.9.3
Программный комплекс Analyzer61850	Захват мгновенных значений тока и напряжения по протоколу МЭК61869. Вычисление полной и мгновенной погрешностей.	п.9.3
Примечание: Допускается использование других средств поверки обеспечивающих измерение соответствующих параметров с требуемой точностью.		

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

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 выше 1000 В с квалификационной группой по электробезопасности не ниже III.

5 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

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.

6 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия применения:

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

7 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

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.7, не менее 4 ч., если она находилась в климатических условиях, отличающихся от указанных в п.7;

– подготовить к работе средства поверки, используемые при поверке, в соответствии с настоящей Методикой (все средства измерений должны быть исправны и поверены).

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

2) Включить ТТЭО (подать питание) и ПЭВМ, убедиться во в наличии индикации на экране (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.

Результат проверки считают положительным, если после подачи питания на ТТЭО включился индикатор (экран) и появилась на нем соответствующая надпись, загорелся зеленый светодиод (Норма) и при отсутствии силы тока показания преобразователя близки к нулевым значениям.

8 ВНЕШНИЙ ОСМОТР

При проведении внешнего осмотра ТТЭО проверяют:

- соответствие комплектности перечню, указанному в паспорте ТТЭО;
- 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 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

9.1 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.

9.2 Идентификацию ПО производить следующим образом:

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

Выполнить проверку встроенного ПО.

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

Версии ПО должны быть не ниже, чем версии указанные в описании типа на ТТЭО.

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

10.1 Определение погрешности коэффициента масштабного преобразования силы постоянного тока ТТЭО, оснащённого аналоговыми выходами, проводится в следующей последовательности:

1. Собирают схему подключений согласно Рисунок 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).

2. Для поверяемого ТТЭО устанавливают в зависимости от номинального первичного тока соответствующее количество витков гибкого чувствительным элемента, опираясь на паспорт и РЭ на устройство. Для остальных исполнений данный пункт требуется пропустить.

3. Воспроизводят 5 различных испытательных сигналов, равномерно распределённых в диапазоне от 10 до 120 % от номинального тока, с помощью источника питания.

4. Выходную силу постоянного тока рассчитывают, снимая показания с нановольтметра/микроомметра 34420А (далее по тексту – 34420А), подключенного к шунту АКПП-7501, по формуле (1):

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

где U – измеренное значение напряжение постоянного тока с помощью 34420А;

R – номинальное сопротивление шунта АКПП-7501;

N – число витков в соленоидах (см. приложение Б).

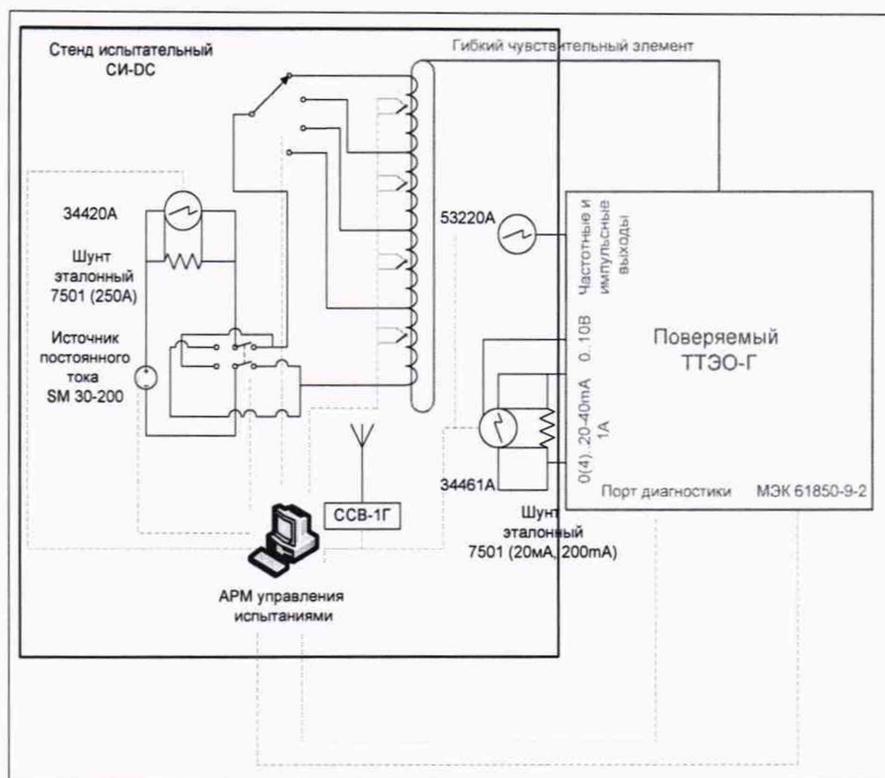


Рисунок 1. Схема для определения погрешности коэффициента масштабного преобразования силы постоянного тока.

5. Измеряют значения силы постоянного тока от ТТЭО:

5.1 Для токового выхода 1А - Мультиметр 34461А.

5.2 Для потенциального выхода – Мультиметр 34461А.

5.3 Для частотного выхода – Частотомер 53220А.

5.4 Для токового выхода 4-40 мА - Мультиметр 34461А.

6. 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, транслируемое с ТТЭО и приведенное к первичным значениям путем умножения на передаточный коэффициент.

Результаты испытания считают удовлетворительными, если погрешность коэффициента масштабного преобразования силы постоянного тока находится в пределах, указанных в приложении А.

10.2 Определение погрешности коэффициента масштабного преобразования силы постоянного тока ТТЭО, оснащённого цифровыми выходами, проводится в следующей последовательности:

1. Собирают схему подключений согласно Рисунок 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).

2. Для поверяемого ТТЭО устанавливают в зависимости от номинального первичного тока соответствующее количество витков гибкого чувствительным элементом,

опираясь на паспорт и РЭ на устройство. Для остальных исполнений данный пункт требуется пропустить.

3. Воспроизводят 5 различных испытательных сигналов, равномерно распределённых в диапазоне от 10 до 120 % от номинального тока, с помощью источника питания.

4. Выходную силу постоянного тока рассчитывают, снимая показания с нановольтметра/микроомметра 34420А (далее по тексту – 34420А), подключенного к шунту АКПП-7501, по формуле (1).

5. Измеряют значения силы постоянного тока от ТТЭО:

5.1 Для выхода 61850 - УПВК-МЭ 61850

5.2 Для Modbus путем считывания значений регистров с помощью ПЭВМ

6. Рассчитывают относительную погрешность по формуле (2).

Результаты испытания считают удовлетворительными, если погрешность коэффициента масштабного преобразования силы постоянного тока находится в пределах, указанных в приложении А.

10.3 Определение соответствия классу точности измерительного ТТ для выхода 61850 проводится в следующей последовательности:

1. Собирают схему подключений согласно Рисунок 3.

2. Для поверяемого ТТЭО устанавливают в зависимости от номинального первичного тока соответствующее количество витков гибкого чувствительным элемента, опираясь на паспорт и РЭ на устройство. Для остальных исполнений данный пункт требуется пропустить.

3. Воспроизводят испытательный сигнал с помощью источника в соответствии с п.12.2 ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010.

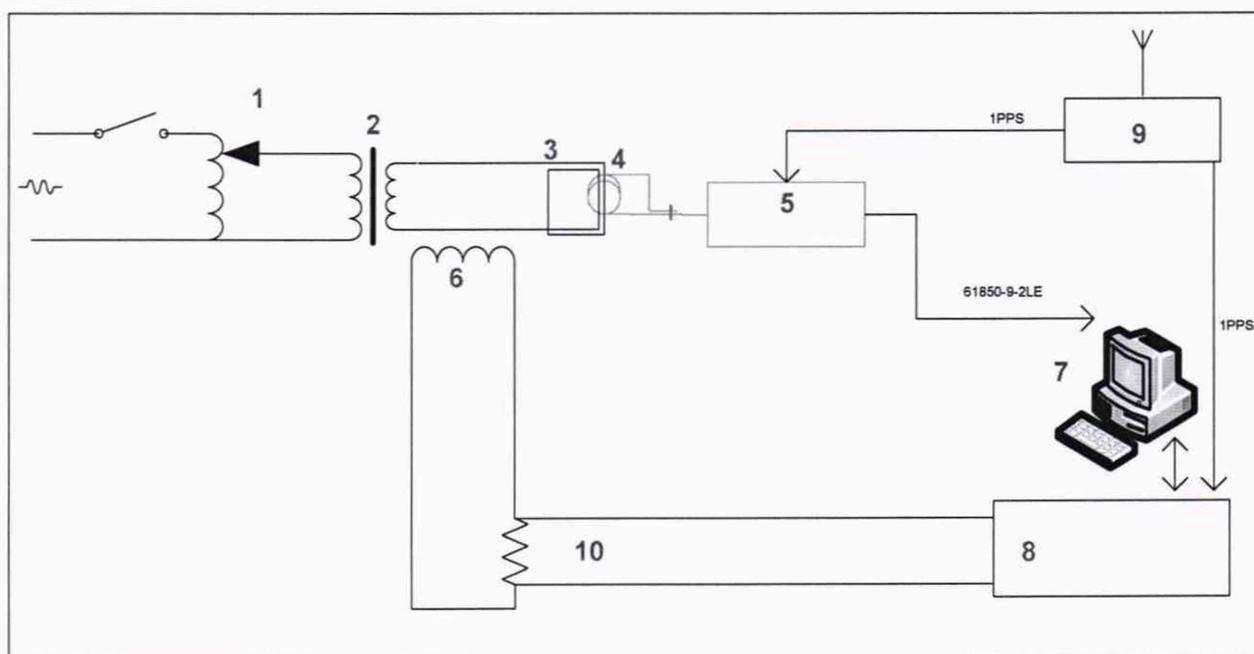


Рисунок 3. Схема для определения соответствия классу точности измерительного ТТ для выхода 61850

Таблица 4. Состав приборов испытательного стенда

№	Прибор
1	ЛАТР
2	Нагрузочный трансформатор
3	Катушка медного провода

4	Чувствительный элемент ТТЭО
5	ЭОБ ТТЭО производство Профотек
6	Эталонный трансформатор тока
7	АРМ УПВК-МЭ 61850
8	Мультиметр 3458А из состава УПВК-МЭ 61850
9	Источник точного времени ССВ-1Г
10	Шунт эталонный безреактивный из состава УПВК-МЭ 61850

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

Результаты испытания считают удовлетворительными, если погрешность коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига силы переменного тока (для выхода 61850) находится в пределах, указанных в п.12.2 ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010.

10.4 Определение соответствия классу точности защитного ТТ для выхода 61850 на номинальном токе проводится в следующей последовательности:

1. Собирают схему подключений согласно Рисунок 3.

2. Для поверяемого ТТЭО устанавливают в зависимости от номинального первичного тока соответствующее количество витков гибкого чувствительным элемента, опираясь на паспорт и РЭ на устройство. Для остальных исполнений данный пункт требуется пропустить.

3. Воспроизводят испытательный сигнал равный номинальному значения тока с помощью источника.

4. Получают значения погрешности коэффициента масштабного преобразования и угла фазового сдвига силы переменного тока (для выхода 61850) на номинальном токе с АРМ УПВК-МЭ 61850.

Результаты испытания считают удовлетворительными, если погрешность коэффициента масштабного преобразования на номинальном токе, погрешность угла фазового сдвига на номинальном токе находятся в пределах, указанных в п.13.1 ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010.

10.5 Определение соответствия классу точности защитного ТТ для выхода 61850 в диапазоне от номинального тока до тока предельной кратности проводится в следующей последовательности:

1. Собирают схему подключений согласно Рисунок 3.

2. Для поверяемого ТТЭО устанавливают в зависимости от номинального первичного тока соответствующее количество витков гибкого чувствительным элемента, опираясь на паспорт и РЭ на устройство. Для остальных исполнений данный пункт требуется пропустить.

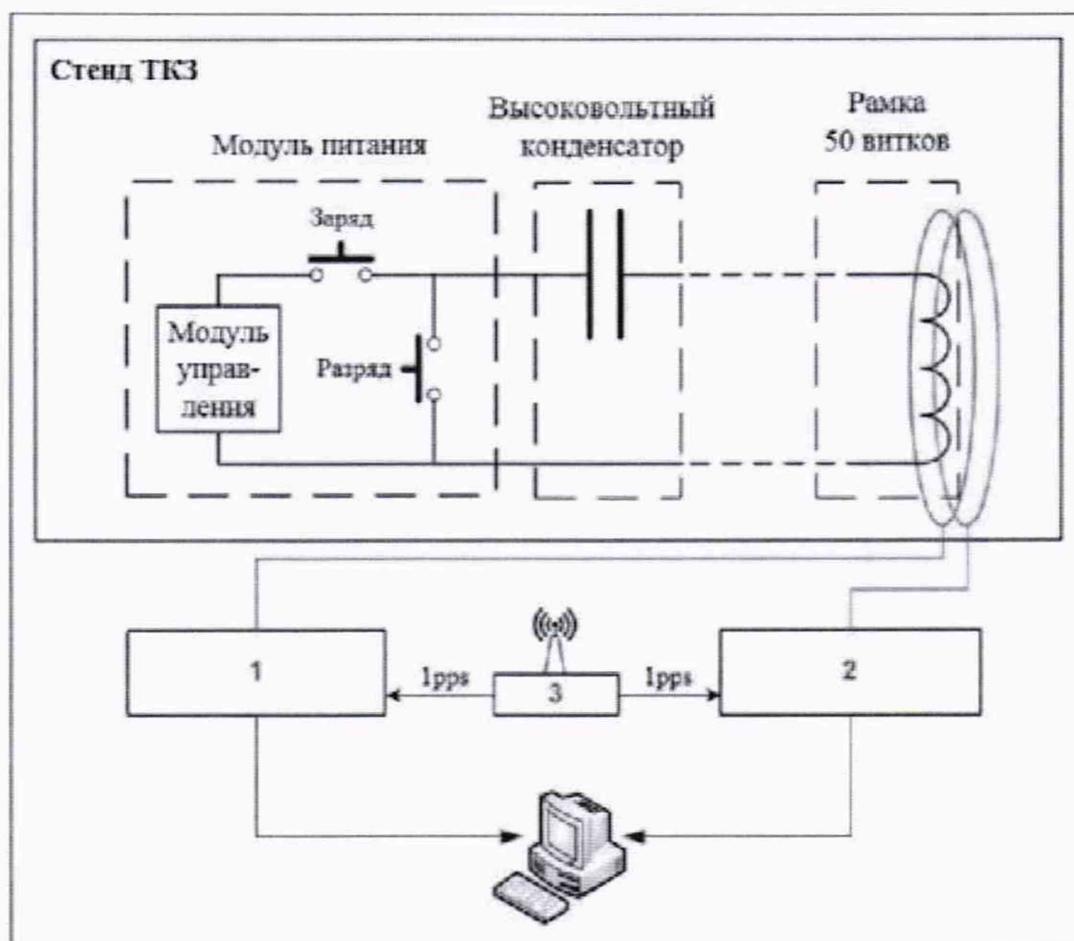


Рисунок 4. Схема для определения соответствия классу точности защитного ТТ в диапазоне токов предельной кратности для выхода 61850

Таблица 5. Состав приборов испытательного стенда

№	Прибор
1	Трансформатор тока электронный оптический ТТЭО эталонный
2	Поверяемый ТТЭО
3	Источник точного времени ССВ-1Г

3. Воспроизводят 5 испытательных сигналов каждой полярности с равномерным распределением в диапазоне от номинального тока до тока предельной кратности для данного ТТЭО. Допускается применение затухающего синусоидального сигнала.

4. Получают значения полной токовой погрешности и максимальной пиковой мгновенной погрешности силы переменного тока (для выхода 61850) в диапазоне от номинального тока до тока предельной кратности с ПК Analyzer61850.

Результаты испытания считают удовлетворительными, если полная токовая погрешность в номинальном диапазоне первичного тока и максимально пиковая мгновенная погрешность в диапазоне от номинального тока до тока предельной кратности (для выхода 61850) находятся в пределах, указанных в п.13.1 ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010.

10.6 Определение погрешности интегратора значения силы постоянного тока (импульсный выход) проводится в следующей последовательности:

1. Собирают схему подключений согласно Рисунок 1.
2. Воспроизводят испытательный сигнал равный номинальному значения тока с помощью источника.

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

На основании положительных результатов по пунктам раздела 9 выписывают свидетельство о поверке, по форме и содержанию соответствующее требованиям Приказа Минпромторга России от 31.07.2020 № 2510 (Приложение №3) "Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке".

Знак поверки наносится на свидетельство о поверке или средство измерений путем нанесения оттиска поверительного клейма. Знак поверки наносится на средства измерений, которые по результатам поверки соответствуют метрологическим требованиям, и конструкция которых предусматривает возможность нанесения знаков поверки.

На основании отрицательных результатов по пунктам раздела 9, выписывают извещение о непригодности, по форме и содержанию соответствующее требованиям Приказа Минпромторга России от 31.07.2020 № 2510 (Приложение №3) "Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке", с указанием причин непригодности.

Результаты поверки оформляют путем записи в протоколе поверки. Рекомендуемая форма протокола представлена в приложении В.

Сведения о результатах поверки средств измерений в целях подтверждения поверки должны быть переданы в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с порядком создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений, предусмотренным частью 3 статьи 20 Федерального закона № 102-ФЗ, аккредитованным на поверку лицом, проводившим поверку, в сроки, согласованные с лицом, представляющим средства измерений в поверку, но не превышающие 20 рабочих дней (для средств измерений, применяемых в качестве эталонов единиц величин) и 40 рабочих дней (для остальных средств измерений) с даты проведения поверки средств измерений.

Начальник отдела 206.1

ФГУП «ВНИИМС»

Заместитель начальника отдела 206.1

ФГУП «ВНИИМС»

С.Ю. Рогожин

М.В. Гришин

Приложение А

(обязательное)

Метрологические и технические характеристики

Таблица А – Метрологические и технические характеристики

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение, кВ	от 0 до 750 кВ
Номинальный первичный ток $I_{ном}$, А	от 1 до 600 000
Классы точности измерительного ТТ на переменном токе	0,1; 0,2S; 0,2; 0,5S; 0,5; 1,0
Классы точности защитного ТТ на переменном токе	5P; 5TPE
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений силы постоянного тока, %	$\pm 0,1$; $\pm 0,2$; $\pm 0,5$; $\pm 1,0$
Номинальная частота измеряемого тока, Гц	от 0 (постоянный ток) до 9 000
Номинальный коэффициент расширенного первичного тока	от 1,2 до 8,0
Количество измеряемых фаз тока	от 1 до 3
Номинальное измеряемое вторичное напряжение, В	$100 / \sqrt{3}$, опционально от 1 до 300 В
Диапазон измеряемого вторичного напряжения, % от номинального	от 2 до 150, опционально – до 190
Номинальная частота измеряемого вторичного напряжения, Гц	от 0 (постоянный ток) до 9 000
Классы точности измерения напряжения на переменном токе	0,05; 0,1; 0,2; 0,5
Количество измеряемых фаз напряжения	0 или 3
Количество вспомогательных низкоуровневых выходов	От 0 до 10
Тип вспомогательных низкоуровневых выходов	Частотный, импульсный, токовый, потенциальный, сухой контакт
Номинальное напряжение вспомогательного потенциального выхода, В	от 0,05 до 10
Максимальное сопротивление вторичной цепи вспомогательного потенциального выхода, кОм	400
Номинальный вторичный ток вспомогательного низкоуровневого	от 4 до 40

Характеристика	Значение
токового выхода, мА	
Максимальное сопротивление вторичной цепи вспомогательного низкоуровневого токового выхода, Ом	50
Номинальный коэффициент преобразования вспомогательных частотных выходов, Гц/кА	от 1 до 150 000
Минимальное сопротивление вторичной цепи вспомогательных частотных выходов, Ом	100
Номинальное значение вспомогательного интегрирующего импульсного выхода, кА·с	от 1 до 400
Минимальное сопротивление вторичной цепи вспомогательного импульсного выхода, Ом	1000
Период обновления данных на вспомогательных низкоуровневых частотных, импульсных, токовых и Modbus портах передней панели, мс	от 0,2 до 3000
Частота дискретизации по выходу "МЭК 61850-9-2", выборки в секунду	от 100 до 64000
Тип входа синхронизации времени	1PPS оптический (спад/фронт), 1PPS электрический (спад/фронт), PTP
Период удержания частоты при отсутствии внешней синхронизации, с, не менее	60
Точность синхронизации времени по внешнему источнику, мкс	от 0,1 до 25
Диапазон пропускания частот при сохранении класса точности, Гц	от 0 до 9000

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:

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

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

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

Приложение В

(рекомендуемое)

Протокол (первичной) поверки № _____

к свидетельству о поверке № _____

от _____

1 Средство измерений:

Трансформатор тока электронный оптический типа ТТЭО исполнение
ТТЭО-_____

Заводской № _____

год выпуска _____

Рег. № _____

2 Изготовитель _____

3 Поверено в соответствии с документом

2 Средства поверки: _____

3 При следующих значениях влияющих факторов:

- температура _____ °С
- отн. влажность _____ %
- атм. давление _____ кПа

4 Результаты поверки:

Наименование операции поверки	Соответствие
Внешний осмотр	
Опробование	
Проверка метрологических характеристик	
Подтверждение соответствия ПО	

Метрологические характеристики

5.1 Определение соответствия классу точности измерительного ТТ для выхода 61850

Таблица 1 - Действительные значения амплитудной Δf и угловой $\Delta \phi$ погрешностей тока ТТ кл. точности 0,2S по ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010.

Номинальный ток, А	Фаза	Значение первичного тока, % от номинального значения	Погрешность поверяемого трансформатора			
			Δf , %		$\Delta \phi$, мин	
			факт	допуск	факт	допуск
	А	120		0,2		10
		100		0,2		10
		20		0,2		10
		5		0,35		15
		1		0,75		30
	В	120		0,2		10
		100		0,2		10
		20		0,2		10
		5		0,35		15
		1		0,75		30
С	120		0,2		10	
	100		0,2		10	

		20		0,2		10
		5		0,35		15
		1		0,75		30

Таблица 2 - Действительные значения амплитудной Δf и угловой $\Delta \phi$ погрешностей тока ТТ кл. точности 5TRP по ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010.

Номинальный ток, А	Фаза	Значение первичного тока, % от номинального значения	Погрешность поверяемого трансформатора			
			Δf , %		$\Delta \phi$, мин	
			факт	допуск	факт	допуск
	А	100		0,2		10
	В	100		0,2		10
	С	100		0,2		10

Таблица 3 - Действительные значения полной токовой погрешности и максимальной пиковой мгновенной погрешности тока ТТ кл. точности 5TRP по ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010.

Значение первичного тока, А	Фаза	Погрешность поверяемого трансформатора			
		Полная токовая погрешность, %		Максимальная пиковая мгновенная погрешность, %	
		факт	допуск	факт	допуск
	А		5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
	В		5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
	С		5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10
			5		10

Таблица 4 - Действительные значения амплитудной Δf и угловой $\Delta \phi$ погрешностей напряжения модуля измерения напряжения кл. точности 0,1.

Номинальное напряжение, В	Фаза	Значение первичного напряжения, % от номинального значения	Погрешность поверяемого трансформатора			
			Δf , %		$\Delta \phi$, мин	
			факт	допуск	факт	допуск
	А	150(190)		0,1		5
		120		0,1		5
		100		0,1		5

		80		0,1		5	
		20		0,2		10	
		5		0,2		10	
		2		0,2		10	
	B	150(190)		0,1		5	
		120		0,1		5	
		100		0,1		5	
		80		0,1		5	
		20		0,2		10	
		5		0,2		10	
		2		0,2		10	
	C	150(190)		0,1		5	
		120		0,1		5	
		100		0,1		5	
		80		0,1		5	
		20		0,2		10	
		5		0,2		10	
			2		0,2		10

5 Вывод: _____

Поверитель

Подпись

Инициалы, фамилия

Дата проверки _____