

СОГЛАСОВАНО



Директор ФГБУ «ВНИИОФИ»

И.С. Филимонов

04 2023 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Измеритель импульсных токов ИИТ-200

Методика поверки

МП 017.М12-23

Главный метролог
ФГБУ «ВНИИОФИ»

С.Н. Негода

« 10 » 04 2023 г.

Главный научный сотрудник
ФГБУ «ВНИИОФИ»

В.Н. Крутиков

« 10 » 04 2023 г.

Москва 2023

1 Общие положения

Настоящая методика поверки распространяется на измеритель импульсных токов ИИТ-200 и устанавливает методы и средства его первичной и периодической поверок.

Измеритель импульсных токов ИИТ-200 (далее – измеритель) предназначен для измерений амплитудно-временных параметров импульсов силы тока (в том числе молниевых разрядов) с микросекундной длительностью фронта.

Принцип действия измерителя основан на преобразовании формы импульсов силы тока с помощью резистивного коаксиального шунта в импульсы напряжения с целью регистрации и измерения их временных и амплитудных значений с помощью осциллографических регистраторов.

По итогам проведения поверки должна обеспечиваться прослеживаемость к ГЭТ 202-2012 в соответствии с ГОСТ 8.644-2014 «Государственная поверочная схема для средств измерений силы импульсного тока молниевых разряда в диапазоне от 1 до 100 кА».

Поверка измерителя выполняется методом косвенных измерений.

Измеритель обеспечивает следующие метрологические характеристики:

– диапазон измеряемых значений амплитуды импульсов силы тока \pm (от $5 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^5$) А;

– коэффициент преобразования от $0,5 \cdot 10^{-5}$ до $1,5 \cdot 10^{-5}$ В/А;

– пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента преобразования не более ± 10 %;

– время нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды не более 0,5 мкс;

– пределы допускаемой относительной погрешности измерений времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды не более ± 15 %.

Примечание – Максимальная измеряемая амплитуда импульсов силы тока измерителя ИИТ-200 соответствует «Квалификационным требованиям КТ-160Г «Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования (внешние воздействующие факторы). Требования, нормы и методы испытаний», при этом верхнее значение диапазона измерений амплитуды импульсного тока соответствует максимальному значению тока молниевых разряда (компонента «А») с длительностью импульса порядка 0,5 мс.

2 Перечень операций поверки средства измерений

2.1 При проведении первичной и периодической поверок должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции первичной и периодической поверок

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8
Определение метрологических характеристик средства измерений			9
Определение коэффициента преобразования и относительной погрешности коэффициента преобразования	Да	Да	9.1

Определение времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды	Да	Да	9.2
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	10

2.2 При получении отрицательных результатов при проведении любой операции поверка прекращается.

2.3 Поверку средств измерений осуществляют аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели.

2.4 Метрологические характеристики по пунктам 9.1 – 9.2 таблицы 1 допускается определять не в полном объеме, при этом поверка проводится по сокращенной программе. Объем поверочных работ определяется совместным решением (по договоренности) между заказчиком и исполнителем проведения работ.

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки соблюдают следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С от 20 до 30;
- относительная влажность воздуха, % не более 80;
- атмосферное давление, кПа от 96 до 104;
- напряжение питания сети, В от 207 до 253;
- частота сети, Гц от 49 до 51.

3.2 Помещение, где проводится поверка, должно быть чистым и сухим, свободным от пыли, паров кислот и щелочей.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К проведению поверки допускаются лица, изучившие настоящую методику поверки и руководства по эксплуатации (РЭ) на измеритель и средства поверки, имеющие квалификационную группу не ниже III в соответствии с правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, указанных в приложении к приказу Министерства труда и социальной защиты РФ от 15.12.2020 №903н, имеющие опыт работы с высокоточными средствами измерений в области измерений электрических величин и прошедшие обучение на право проведения поверки по требуемому виду измерений.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении первичной и периодической поверок применяются средства поверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки

Операция поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Эталон единицы силы импульсного тока не ниже уровня вторичного эталона по ГОСТ 8.644-2014 с характеристиками: диапазон значений силы импульсного тока, в котором эталон хранит и передает значение величины от 1,0 до $1,0 \cdot 10^5$ А; номинальное значение силы импульсного тока, в котором эталон хра-	Вторичный эталон единицы силы импульсного тока 2.1.ZZA.0058.2015 по ГОСТ 8.644-2014

	<p>нит и передает значение величины: 10^3 А; доверительные границы погрешности измерений (воспроизведения) силы импульсного тока от 4,0 до 6,0 %; время нарастания переходной характеристики преобразователя между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения от 10 до 100 нс; длительность переходной характеристики преобразователя на уровне 0,5 от установившегося значения при номинальном значении силы импульсного тока, не менее 25 с</p>	
	<p>Эталон единицы силы импульсного тока не ниже уровня вторичного эталона по ГОСТ 8.644-2014 с характеристиками: диапазон значений силы импульсного тока, в котором эталон хранит и передает значение величины от 0,1 до $1,0 \cdot 10^4$ А; длительность фронта воспроизводимых импульсов силы тока между уровнями от 0,1 до 0,9 от амплитуды $1,0 \cdot 10^{-8}$ до $1,0 \cdot 10^{-6}$ с; длительность воспроизводимых импульсов силы тока на уровне 0,5 от амплитуды от $2,0 \cdot 10^{-7}$ до $5,0 \cdot 10^{-4}$ с; доверительные границы погрешности воспроизведения импульсов силы тока от 4,0 до 9,0 %</p>	<p>Вторичный эталон единицы силы импульсного тока 2.1.ZZA.0057.2015 по ГОСТ 8.644-2014</p>
	<p>Средство измерений (осциллографический регистратор) по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. №3463 с характеристиками: полоса пропускания 16 ГГц, диапазон коэффициента отклонения от 10 мВ/дел до 1 В/дел; диапазон коэффициента развертки от 10 пс/дел до 100 с/дел, относительная погрешность измерений амплитудно-временных значений регистрируемых сигналов ± 2 %, входное сопротивление 50 Ом</p>	<p>Осциллограф цифровой Tektronix DPO 71604C, пер. № 48470-11</p>
	<p>Средство измерений (осциллографический регистратор) по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. №3463 с характеристиками: полоса пропускания 1 ГГц, диапазон коэффициента отклонения от 10 мВ/дел до 10 В/дел; диапазон коэффициента развертки от 200 пс/дел до 10 с/дел, относительная погрешность измерений амплитудно-временных значений регистрируемых сигналов ± 1 %, входное сопротивление 50 Ом/1 МОм</p>	<p>Осциллограф цифровой Tektronix TDS 784D, пер. № 19296-00</p>
	<p>Средство измерений по ГОСТ Р 8.684-2009 с характеристиками: пределы измерений напряжения постоянного тока: 0,2; 2,0; 20,0; 200,0; 1000,0 В; пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений напряжения постоянного тока от $\pm (0,004 \% \cdot U + 4 \text{ мкВ})$ в пределе измерений 0,2 В до $\pm (0,005 \% \cdot U + 20 \text{ мВ})$ в пределе измерений до 1000 В, где U – измеряемое значение напряжения, В; пределы измерений сопро-</p>	<p>Вольтметр универсальный В7-54/3, пер. № 15250-12</p>

	<p>тивления постоянному току 0,2; 2,0; 20,0; 200,0; 2000,0 кОм, 20,0 МОм; пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений сопротивления постоянному току в пределе измерений до 0,2 кОм: $\pm (0,01 \% \cdot R + 3 \text{ мОм})$, где R – измеряемое значение сопротивления, Ом.</p>	
	<p>Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне от 15 до 25 °С с абсолютной погрешностью не более 0,2 °С; средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 30 до 80 % с абсолютной погрешностью не более 2 %; средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 84 до 106 кПа с абсолютной погрешностью не более 0,13 кПа</p>	<p>Измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп-М», рег. № 32014-11</p>
<p>п. 9 Определение метрологических характеристик</p>	<p>Эталон единицы силы импульсного тока не ниже уровня вторичного эталона по ГОСТ 8.644-2014 с характеристиками: диапазон значений силы импульсного тока, в котором эталон хранит и передает значение величины от 1,0 до $1,0 \cdot 10^5$ А; номинальное значение силы импульсного тока, в котором эталон хранит и передает значение величины: 10^3 А; доверительные границы погрешности измерений (воспроизведения) силы импульсного тока от 4,0 до 6,0 %; время нарастания переходной характеристики преобразователя между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения от 10 до 100 нс; длительность переходной характеристики преобразователя на уровне 0,5 от установившегося значения при номинальном значении силы импульсного тока, не менее 25 с</p>	<p>Вторичный эталон единицы силы импульсного тока 2.1.ZZA.0058.2015 по ГОСТ 8.644-2014</p>
	<p>Эталон единицы силы импульсного тока не ниже уровня вторичного эталона по ГОСТ 8.644-2014 с характеристиками: диапазон значений силы импульсного тока, в котором эталон хранит и передает значение величины от 0,1 до $1,0 \cdot 10^4$ А; длительность фронта воспроизводимых импульсов силы тока между уровнями от 0,1 до 0,9 от амплитуды $1,0 \cdot 10^{-8}$ до $1,0 \cdot 10^{-6}$ с; длительность воспроизводимых импульсов силы тока на уровне 0,5 от амплитуды от $2,0 \cdot 10^{-7}$ до $5,0 \cdot 10^{-4}$ с; доверительные границы погрешности воспроизведения импульсов силы тока от 4,0 до 9,0 %</p>	<p>Вторичный эталон единицы силы импульсного тока 2.1.ZZA.0057.2015 по ГОСТ 8.644-2014</p>
	<p>Средство измерений (осциллографический регистратор) по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. №3463 с характеристиками: полоса пропускания 16 ГГц, диапазон коэффициента отклонения от 10 мВ/дел до 1 В/дел; диапазон коэффициента развертки от 10 пс/дел до 100 с/дел, относительная погрешность измерений амплитудно-временных значений регистри-</p>	<p>Осциллограф цифровой Tektronix DPO 71604C, рег. № 48470-11</p>

	руемых сигналов $\pm 2\%$, входное сопротивление 50 Ом	
	Средство измерений (осциллографический регистратор) по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. №3463 с характеристиками: полоса пропускания 1 ГГц, диапазон коэффициента отклонения от 10 мВ/дел до 10 В/дел; диапазон коэффициента развертки от 200 пс/дел до 10 с/дел, относительная погрешность измерений амплитудно-временных значений регистрируемых сигналов $\pm 1\%$, входное сопротивление 50 Ом/1 МОм	Осциллограф цифровой Tektronix TDS 784D, рег. № 19296-00
	<p>Средство измерений (генератор импульсов) по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. №3463 с характеристиками:</p> <p>– выход 1: нагрузка от 49,5 до 50,5 Ом, амплитуда импульсов от 10 мВ до 9,9 В; абсолютная погрешность установки амплитуды импульсов в основном диапазоне $\pm (0,03 \cdot U + 3 \text{ мВ})$, U – установленное значение амплитуды импульсов, В; период повторения одинарных импульсов от 10 нс до 100 с; предел допускаемой абсолютной погрешности установки периода $\pm 10^{-6} \cdot T_{\text{пп}}$, $T_{\text{пп}}$ – установленное значение периода повторения, с; длительность основных импульсов от 5 нс до 10 с; предел допускаемой абсолютной погрешности установки длительности импульсов: $\pm (10^{-4} \cdot T_{\text{дл}} + 0,5 \text{ нс} + T_{\text{фр}})$, $T_{\text{дл}}$ – установленное значение длительности импульсов, с; длительность фронта и среза импульсов не более 4 нс;</p> <p>– выход 2: нагрузка от 49,5 до 50,5 Ом, амплитуда импульсов от 10 В до 100 В; абсолютная погрешность установки амплитуды импульсов в основном диапазоне $\pm 0,1 \cdot U$, U – установленное значение амплитуды импульсов, В; период повторения одинарных импульсов от 1 мкс до 100 с; предел допускаемой абсолютной погрешности установки периода $\pm 10^{-6} \cdot T_{\text{пп}}$, $T_{\text{пп}}$ – установленное значение периода повторения, с; длительность основных импульсов от 100 нс до 1 с; предел допускаемой абсолютной погрешности установки длительности импульсов $\pm (10^{-4} \cdot T_{\text{дл}} + 0,5 \text{ нс} + T_{\text{фр}})$, $T_{\text{дл}}$ – установленное значение длительности импульсов, с; длительность фронта и среза импульсов не более 0,5 нс.</p> <p>– выход 3: нагрузка от 49,5 до 50,5 Ом, амплитуда импульсов от 0,5 В до 5,0 В; абсолютная погрешность установки амплитуды импульсов в основном диапазоне $\pm (0,05 \cdot U + 4 \text{ мВ})$, U – установленное значение амплитуды импульсов, В; период повторения одинарных импульсов от 10 нс до 100 с; предел допускаемой абсолютной погрешности установки периода</p>	Генератор импульсов Г5-102, рег. № 39224-08

	$\pm 10^{-6} \cdot T_{\text{ип}}$, $T_{\text{ип}}$ – установленное значение периода повторения, с; длительность основных импульсов от 5 нс до 10 мкс; предел допускаемой абсолютной погрешности установки длительности импульсов $\pm (10^{-4} \cdot T_{\text{дл}} + 0,5 \text{ нс} + T_{\text{фр}})$, $T_{\text{дл}}$ – установленное значение длительности импульсов, с; длительность фронта и среза импульсов не более 0,5 нс	
--	--	--

5.2 Допускается применение других средств поверки, не приведенных в таблице 2, но обеспечивающих определение (контроль) метрологических характеристик поверяемого средства измерений с требуемой точностью.

5.3 Средства измерений, указанные в таблице 2, должны быть аттестованы (поверены) в установленном порядке.

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 Перед началом поверки необходимо изучить руководство по эксплуатации на измеритель и настоящую методику поверки.

6.2 При проведении поверки следует соблюдать требования, установленные правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, указанных в приложении к приказу Министерства труда и социальной защиты РФ от 15.12.2020 №903н. Оборудование, применяемое при поверке, должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003-91. Воздух рабочей зоны должен соответствовать ГОСТ 12.1.005-88 при температуре помещения, соответствующей условиям испытаний для легких физических работ.

6.3 Система электрического питания приборов должна быть защищена от колебаний и пиков сетевого напряжения.

6.4 При выполнении измерений должны соблюдаться требования, указанные в руководстве по эксплуатации на измеритель.

6.5 Помещение, в котором проводится поверка, должно соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83.

7 Внешний осмотр средства измерений

7.1 Проверяют комплектность измерителя.

Комплектность измерителя должна соответствовать таблице 3.

Таблица 3 – Комплектность измерителя

Наименование	Обозначение	Количество
Измеритель импульсных токов: Шунт коаксиальный импульсный ШК-200 Передающий блок ВОС-6 ПП Приёмный блок ВОС-6 ФП Волоконно-оптический кабель ВОК	ИИТ-200	1 шт.
Руководство по эксплуатации	РВСТ.054.00.00.00 РЭ	1 экз.
Формуляр	РВСТ.054.00.00.00 ФО	1 экз.
Упаковка	–	1 шт.

7.2 Проверяют измеритель на отсутствие механических повреждений и ослаблений элементов конструкции.

7.3 Измеритель признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если не обнаружены несоответствия комплектности, механические повреждения, ослабления элементов конструкции, неисправности разъемов.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Проверьте наличие средств поверки по таблице 2, укомплектованность их документацией и необходимыми элементами соединений.

8.2 Используемые средства поверки разместите, заземлите и соедините в соответствии с требованиями их технической документации.

8.3 Подготовку, соединение, включение и прогрев измерителя и средств поверки, регистрацию показаний и другие работы по поверке произведите в соответствии с эксплуатационной документацией на указанные средства.

8.4 При опробовании измерителя оценивают его работоспособность с целью выявления внутренних скрытых дефектов, возникших при транспортировании или эксплуатации и препятствующих дальнейшей эксплуатации.

8.5 Подсоединяют выход вторичного эталона единицы силы импульсного тока 2.1.ZZA.0058.2015 к входу шунта ШК-200 из состава измерителя (см. рисунок 1). Соединяют выходной разъем ШК-200 с помощью радиочастотного кабеля с входным разъемом передающего блока ВОС-6 ПП. Используя волоконно-оптический кабель ВОК, соединяют оптический выход передающего блока ВОС-6 ПП с оптическим входом приемного блока ВОС-6 ФП и далее с помощью радиочастотного кабеля соединяют выходной разъем приемного блока ВОС-6 ФП с входом осциллографа Tektronix DPO 71604C (в случае, если амплитуда сигнала на выходе измерителя превышает 1 В, то используют осциллограф Tektronix TDS 784D). Устанавливают входное сопротивление на осциллографе 50 Ом. Подготавливают измеритель к регистрации импульсов силы тока в соответствии с его РЭ.

Примечание – Для воспроизведения импульсов силы тока может применяться ВЭ 2.1.ZZA.0057.2015.

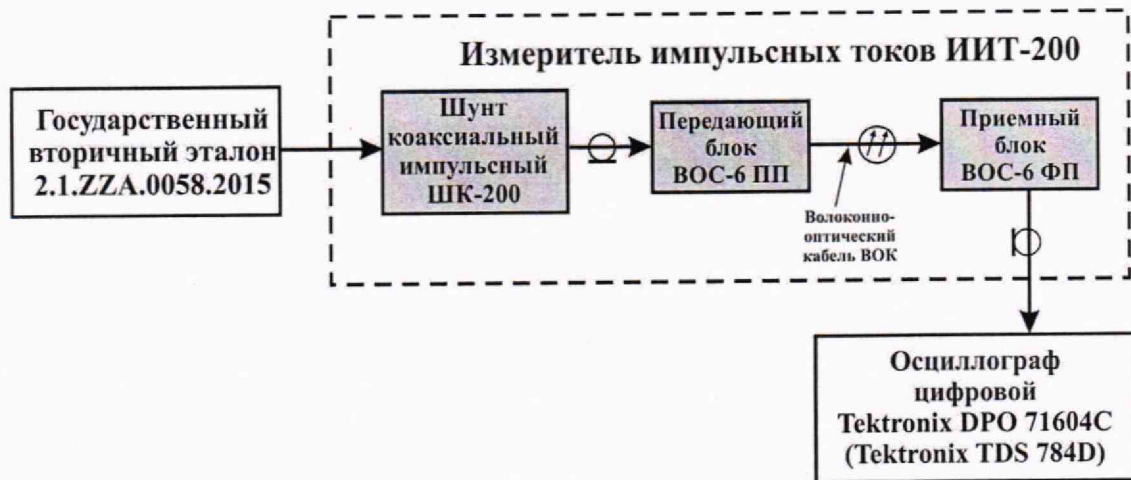


Рисунок 1 – Схема соединений при проведении опробования измерителя и проверки его метрологических характеристик

8.6 Воспроизводят импульс силы тока на выходе ВЭ 2.1.ZZA.0058.2015 с амплитудой $I_{ВЭ.опр}$, А, порядка 10 кА и обеспечивают с помощью осциллографа Tektronix DPO 71604C регистрацию импульсов напряжения на выходе измерителя. По полученной осциллограмме (см. рисунок 2) при помощи маркеров осциллографа определяют среднее значение амплитуды $V_{ср.опр}$, В, импульса.

8.7 По формуле (1) вычисляют значение коэффициента преобразования измерителя, В/А:

$$K_{пр.опр} = V_{ср.опр} / I_{ВЭ.опр}. \quad (1)$$

8.8 Измеритель признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если, значение коэффициента преобразования $K_{\text{пр.опр}}$, В/А, составляет от $0,5 \cdot 10^{-5}$ до $1,5 \cdot 10^{-5}$ В/А.

В случае если вычисленное значение коэффициента преобразования выходит за указанный диапазон, то принимают меры к выявлению источников электромагнитных помех и проводят работы по уменьшению их влияния на регистрирующую аппаратуру.

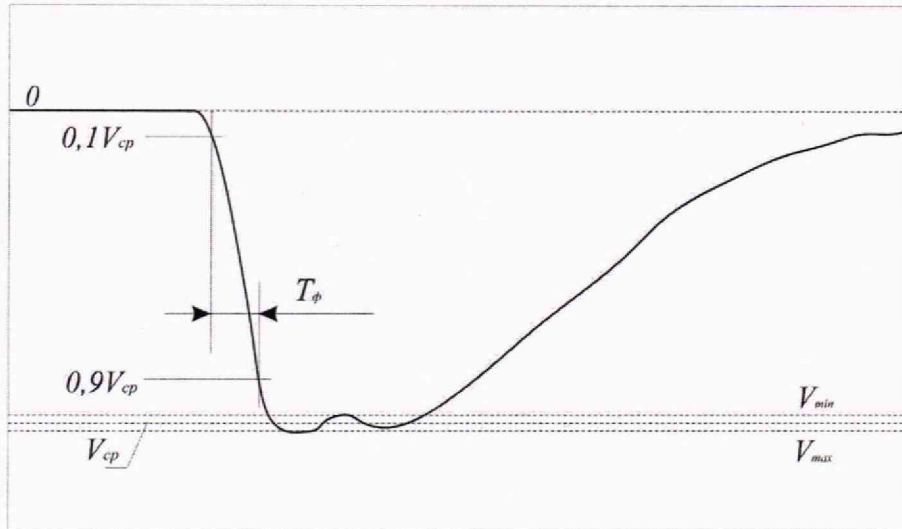


Рисунок 2 – Эюра напряжения на выходе измерителя при определении метрологических характеристик

9 Определение метрологических характеристик средства измерений

9.1 Определение коэффициента преобразования и относительной погрешности коэффициента преобразования

9.1.1 Проводят работы по 8.5, воспроизводят импульс силы тока на выходе ВЭ 2.1.ZZA.0058.2015 с амплитудой $I_{\text{ВЭ.100}}$, А, порядка 100 кА и обеспечивают с помощью осциллографа Tektronix DPO 71604C регистрацию импульсов напряжения на выходе измерителя (см. рисунок 2).

9.1.2 По полученной осциллограмме при помощи маркеров осциллографа на вершине импульса измеряют две величины:

- V_{max} , В – соответствующую максимальному значению амплитуды, В;
- V_{min} , В – соответствующую минимальному значению амплитуды, В.

9.1.3 Измерения по 9.1.2 производят последовательно $n = 10$ раз.

9.1.4 Определяют диапазон выходных напряжений на выходе шунта ШК-200 при работе измерителя.

Минимальное напряжение $U_{\text{ШК-200.мин}}$, В, на выходе шунта ШК-200 при работе измерителя при регистрации импульсов силы тока амплитудой 5 кА (нижняя точка рабочего диапазона измерителя) определяют по формуле

$$U_{\text{ШК-200.мин}} = I_{\text{ВЭ.100}} \cdot R_{\text{ШК-200}} / 20, \quad (2)$$

где $R_{\text{ШК-200}} = 8,69 \cdot 10^{-4}$ Ом – номинальное сопротивление шунта ШК-200 (в соответствии с технической документацией на средство измерений).

Максимальное напряжение $U_{\text{ШК-200.макс}}$, В, на выходе шунта ШК-200 при работе измерителя при регистрации импульсов силы тока амплитудой порядка 200 кА (верхняя точка рабочего диапазона измерителя) определяют по формуле

$$U_{\text{ШК-200.макс}} = I_{\text{ВЭ.100}} \cdot R_{\text{ШК-200}} \cdot 2. \quad (3)$$

9.1.5 Подключают с помощью радиочастотного коаксиального кабеля первый выход генератора импульсов Г5-102 ко входу волоконно-оптической системы передачи аналогового

сигнала (ВОС, которая включает ВОС-6 ПП и ВОС-6 ФП, соединенные ВОК). Выход ВОС с помощью радиочастотного коаксиального кабеля подключают к входу осциллографа Tektronix TDS 784D. Устанавливают входное сопротивление осциллографа 50 Ом. Устанавливают на выходе генератора амплитуду $U_{\text{имп.Г5-102.1}}$, В, выходных импульсов напряжения равной (с точностью $\pm 10\%$) рассчитанному по формуле (2) значению $U_{\text{ШК-200.мин}}$, В, длительность $T_{\text{имп.Г5-102}}$, с, порядка 1 с и проводят регистрацию импульсов напряжения на выходе ВОС с помощью осциллографа. С помощью маркеров осциллографа определяют амплитуду $U_{\text{имп.ВОС.1}}$, В, зарегистрированных и передаваемых по волоконно-оптической линии связи импульсов напряжения.

9.1.6 Проводят аналогичные по 9.1.5 работы, устанавливая последовательно следующие значения амплитуд импульсов на выходе генератора Г5-102 (при необходимости задействуют второй выход): $U_{\text{имп.Г5-102.2}} = 10$ В; $U_{\text{имп.Г5-102.3}} = 40$ В; $U_{\text{имп.Г5-102.4}} = 100$ В; $U_{\text{имп.ген.выс.ступ.5}} = 200$ В (при этом используют высоковольтный полупроводниковый генератор ступенчатых импульсов напряжения из состава вторичного эталона 2.1.ZZA.0057.2015) и определяют амплитуды $U_{\text{имп.ВОС.2}}$, В, $U_{\text{имп.ВОС.3}}$, В, $U_{\text{имп.ВОС.4}}$, В, $U_{\text{имп.ВОС.5}}$, В, зарегистрированных и передаваемых по волоконно-оптической линии связи импульсов напряжения.

9.1.7 Работы по 9.1.5 – 9.1.6 проводят для отрицательной полярности выходных сигналов генераторов.

9.2 Определение времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды

9.2.1 Проводят работы по 8.5, используя схему соединений в соответствии с рисунком 1. Воспроизводят импульс силы тока на выходе ВЭ 2.1.ZZA.0058.2015 с амплитудой $I_{\text{вэ}}$, А, порядка 5 кА и обеспечивают с помощью осциллографа Tektronix DPO 71604C регистрацию импульсов напряжения на выходе измерителя. По полученной осциллограмме (см. рисунок 2) при помощи маркеров осциллографа определяют длительность фронта T_{ϕ_i} , с, $i=1$, зарегистрированных импульсов между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе измерителя.

Примечание – Для воспроизведения импульсов силы тока может применяться ВЭ 2.1.ZZA.0057.2015.

9.2.2 Работы по 9.2.1 последовательно проводят десять раз и определяют для каждого измерения время нарастания переходной характеристики измерителя между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды T_{ϕ_i} , с, $i=1...10$.

10 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Расчет коэффициента преобразования

10.1.1 Используя измеренные значения по 9.1, вычисляют средние арифметические значения \bar{V}_{max} , В, и \bar{V}_{min} , В, по формулам

$$\bar{V}_{\text{max}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{\text{max}_i}, \quad (4)$$

$$\bar{V}_{\text{min}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{\text{min}_i}, \quad (5)$$

где V_{max_i} – i -е измерение напряжения V_{max} , В, V_{min_i} – i -е измерение напряжения V_{min} , В.

Относительную случайную погрешность измерения напряжения, обусловленную шумами на вершинах измеряемых импульсов на выходе измерителя $\Theta_{\text{нер.вер}}$, %, определяют по формуле

$$\Theta_{\text{нер.вер}} = (\bar{V}_{\text{max}} - \bar{V}_{\text{min}}) / (\bar{V}_{\text{max}} + \bar{V}_{\text{min}}). \quad (6)$$

10.1.2 Значение коэффициента преобразования $K_{\text{пр}}$, В/А, измерителя определяют по формуле

$$K_{\text{пр}} = (\bar{V}_{\text{max}} + \bar{V}_{\text{min}}) / (2 \cdot I_{\text{ВЭ.100}}) \quad (7)$$

10.1.3 Измеритель признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если значение коэффициента преобразования $K_{\text{пр}}$, В/А, составляет от $0,5 \cdot 10^{-5}$ до $1,5 \cdot 10^{-5}$ В/А

10.2 Расчет относительной погрешности коэффициента преобразования

10.2.1 Используя измеренные значения по 10.1, вычисляют средние квадратические отклонения среднего арифметического (СКО) $S(\bar{V}_{\text{max}})$ и $S(\bar{V}_{\text{min}})$, %, измерений максимального V_{max} , В, и минимального V_{min} , В, значений напряжения на выходе измерителя и получают оценку СКО коэффициента преобразования $S(K_{\text{пр}})$, %, по формулам

$$S(\bar{V}_{\text{max}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{\text{max}_i} - \bar{V}_{\text{max}})^2}{n(n-1)}} \cdot \frac{100\%}{\bar{V}_{\text{max}}}, \quad (8)$$

$$S(\bar{V}_{\text{min}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{\text{min}_i} - \bar{V}_{\text{min}})^2}{n(n-1)}} \cdot \frac{100\%}{\bar{V}_{\text{min}}} \quad (9)$$

$$S(K_{\text{пр}}) = \sqrt{S(\bar{V}_{\text{min}})^2 + S(\bar{V}_{\text{max}})^2}. \quad (10)$$

10.2.2 Доверительные границы случайной погрешности измерений коэффициента преобразования (без учета знака), $\epsilon_{K_{\text{пр}}}$, %, при доверительной вероятности $P = 0,95$ и $n = 10$ находят по формуле

$$\epsilon_{K_{\text{пр}}} = 2,262 \cdot S(K_{\text{пр}}) \quad (11)$$

10.2.3 Доверительные границы неисключенной систематической погрешности коэффициента преобразования $\Theta_{K_{\text{пр}}}$, %, при доверительной вероятности $P=0,95$ и поправочном коэффициенте $k = 1,1$ определяют по формуле

$$\Theta_{K_{\text{пр}}} = 1,1 \cdot (\Theta_{\text{ВЭ}}^2 + \Theta_{V_{\text{max}}}^2 + \Theta_{V_{\text{min}}}^2 + \Theta_{\text{нер.вер}}^2 + \Theta_{\text{ВОС}}^2 + \Theta_{\text{К200}}^2)^{1/2}, \quad (12)$$

где $\Theta_{\text{ВЭ}}$ – относительная погрешность воспроизведения амплитуды импульсов силы тока на выходе ВЭ 2.1.ZZA.0058.2015 (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{V_{\text{max}}}$ – относительная погрешность осциллографа Tektronix DPO 71604C при определении максимальной амплитуды V_{max} импульсов напряжения на выходе измерителя, %;

$\Theta_{V_{\text{min}}}$ – относительная погрешность осциллографа Tektronix DPO 71604C при определении минимальной амплитуды V_{min} импульсов напряжения на выходе измерителя, %;

$\Theta_{\text{нер.вер}}$ – относительная погрешность, обусловленная неравномерностью вершины импульса на выходе измерителя, рассчитанная в соответствии с формулой (6), %;

$\Theta_{\text{ВОС}}$ – относительная погрешность (нелинейность) коэффициента передачи волоконно-оптической системы ВОС в рабочем диапазоне выходных напряжений при работе измерителя, %;

$\Theta_{\text{К200}}$ – относительная погрешность, обусловленная изменением сопротивления шунта коаксиального импульсного ШК-200 вследствие джоулевого нагрева при протекании импульсов тока амплитудой до 200 кА, %.

10.2.4 Расчет относительной погрешности $\Theta_{\text{ВОС}}$

10.2.4.1 Используя результаты измерений по 9.1.6, определяют в точке с амплитудой $U_{\text{имп.Г5-102.1}}$, В, коэффициент передачи $K_{\text{пр.1.ВОС}}$, В/В, ВОС по формуле

$$K_{\text{пр.1.ВОС}} = U_{\text{имп.Г5-102.1}} / U_{\text{имп.ВОС.1}} \quad (13)$$

Аналогично в точках с амплитудами $U_{\text{имп.Г5-102.2}}$; $U_{\text{имп.Г5-102.3}}$; $U_{\text{имп.Г5-102.4}}$ и $U_{\text{имп.ген.выс.ступ.5}}$ по формуле (13) определяют значения коэффициентов передачи: $K_{\text{пр.2.ВОС}}$, $K_{\text{пр.3.ВОС}}$, $K_{\text{пр.4.ВОС}}$, $K_{\text{пр.5.ВОС}}$.

Из полученных значений $\{K_{\text{пр.1.ВОС}}, K_{\text{пр.2.ВОС}}, K_{\text{пр.3.ВОС}}, K_{\text{пр.4.ВОС}}, K_{\text{пр.5.ВОС}}\}$ определяют $K_{\text{пр.ВОС.min}}$ и $K_{\text{пр.ВОС.max}}$ - минимальное и максимальное значения коэффициентов передачи ВОС.

10.2.4.2 Относительную погрешность (нелинейность) $\Theta_{\text{ВОС}}$, %, коэффициента передачи волоконно-оптической системы ВОС, в рабочем диапазоне выходных напряжений ШК-200 положительной полярности при работе измерителя определяют по формуле

$$\Theta_{\text{ВОС.пол}} = (K_{\text{пр.ВОС.min}} - K_{\text{пр.ВОС.max}}) / (K_{\text{пр.ВОС.min}} + K_{\text{пр.ВОС.max}}) \cdot 100 \% \quad (14)$$

10.2.4.3 Работы по 10.2.4.1 – 10.2.4.2 проводят для отрицательной полярности выходных сигналов генераторов и определяют $\Theta_{\text{ВОС.отр}}$, %.

10.2.4.4 Из полученных значений $\{\Theta_{\text{ВОС.пол}}, \Theta_{\text{ВОС.отр}}\}$ выбирают максимальное значения относительной погрешности $\Theta_{\text{ВОС}}$, %.

10.2.5 Расчет относительной погрешности $\Theta_{\text{К200}}$

10.2.5.1 Относительную погрешность $\Theta_{\text{К200}}$, %, обусловленную изменением сопротивления шунта коаксиального импульсного ШК-200 вследствие джоулевого нагрева при протекании импульсов тока амплитудой до 200 кА, определяют расчетным путем по формуле

$$\Theta_{\text{К200}} = \alpha \cdot \Delta t_{200} \cdot 100\%, \quad (15)$$

где $\alpha = 5 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$ – температурный коэффициент сопротивления константана МНМц 40-1,5, из которого изготовлена активная часть ШК-200;

Δt_{200} – изменение температуры шунта вследствие джоулевого нагрева при протекании импульса тока амплитудой 200 кА, К.

10.2.5.2 Изменение температуры шунта Δt_{200} , К, определяют по формуле

$$\Delta t_{200} = W / (m \cdot c), \quad (16)$$

где W – количество теплоты, выделяемой в активной части шунта при протекании импульса тока амплитудой 200 кА, Дж;

$m = 8,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$ – масса активной части шунта ШК-200 (в соответствии с технической документацией на средство измерений);

$c = 415 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – удельная теплоемкость материала активной части шунта (константан МНМц 40-1,5).

Количество теплоты W , Дж, определяется по формуле

$$W = R_{\text{ШК-200}} \cdot T_{\text{и}} \cdot I^2 = 2 \cdot 10^6 \cdot R_{\text{ШК-200}}, \quad (17)$$

где $R_{\text{ШК-200}}$ – номинальное сопротивление шунта ШК-200 (в соответствии с технической документацией на средство измерений), Ом;

$T_{\text{и}} = 50$ мкс – длительность импульса тока;

$I = 200$ кА – амплитуда импульса тока.

Примечание – в соответствии с КТ-160G максимальная энергия выделится в шунте при протекании компоненты А испытательного тока молнии, имеющей амплитуду 200 кА и время нарастания $T_{\text{н}} \leq 50$ мкс. При измерениях имеет значение только изменение активного сопротивления шунта за время, когда ток нарастает от нулевого уровня до амплитуды. В связи с тем, что конкретная форма импульса не нормируется, следует вычислять количество теплоты при протекании прямоугольного импульса тока с бесконечно крутым фронтом амплитудой 200 кА и длительностью 50 мкс. Это заведомо даст верхнюю оценку количества теплоты.

10.2.6 Доверительные границы $\delta_{\text{Кпр}}$, %, относительной погрешности коэффициента преобразования измерителя вычисляются по полученным значениям случайной и неисключенной систематической погрешности в соответствии с ГОСТ 8.736 «ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения» по формуле

$$\delta_{\text{Кпр}} = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (18)$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной составляющей погрешности и неисключенной систематической погрешности;

S_{Σ} – суммарное среднее квадратическое отклонение измерения коэффициента преобразования, определяемое по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 + S(\text{Кпр})^2}, \quad (19)$$

где S_{θ} – СКО неисключенной систематической погрешности измерений коэффициента преобразования, вычисляемое по формуле

$$S_{\theta} = \frac{\theta_{\text{Кпр}}}{1,1\sqrt{3}}. \quad (20)$$

Коэффициент K вычисляют по формуле

$$K = \frac{\varepsilon_{\text{Кпр}} + \theta_{\text{Кпр}}}{S(\text{Кпр}) + S_{\theta}}. \quad (21)$$

10.2.7 Измеритель признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента преобразования не превышают ± 10 %.

10.3 Расчет времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды

10.3.1 Используя измеренные значения по 9.2, вычисляют время нарастания переходной характеристики $T_{н.ПХ.i}$, с, измерителя между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды, вычисляют по формуле

$$T_{н.ПХ.i} = \sqrt{T_{\phi.i}^2 - T_{\phiр.ВЭ}^2 - T_{н.ПХ.осц}^2}, \quad (22)$$

где $T_{\phi.i}$ – зарегистрированное значение длительности фронта импульсов между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе измерителя, с;

$T_{\phiр.ВЭ}$ – длительность фронта воспроизводимых импульсов силы тока на выходе ВЭ 2.1.ZZA.0058.2015 (в соответствии с технической документацией на средство измерений), с;

$T_{н.ПХ.осц} = 22,5$ пс – время нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды осциллографа Tektronix DPO 71604C.

10.3.2 Вычисляют среднее арифметическое значение времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды измерителя по 10 вычислениям, $\bar{T}_{н.ПХ}$, с, по формуле

$$\bar{T}_{н.ПХ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{н.ПХ.i}, \quad (23)$$

где $T_{н.ПХ.i}$ - i – тый результат измерений, с;

n – количество измерений.

10.3.3 Измеритель признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если время нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды не превышает 0,5 мкс.

10.4 Расчет относительной погрешности измерений времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды

10.4.1 Доверительные границы $\Theta_{н.ПХ}$, %, относительной погрешности измерений времени нарастания переходной характеристики измерителя между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды при доверительной вероятности $P = 0,95$ (без учета знака) определяют по формуле

$$\Theta_{н.ПХ} = 1,1 \sqrt{\theta_{\phiр.ВЭ}^2 + \theta_{осц.В.вн}^2 + \theta_{осц.Т.вн}^2}, \quad (24)$$

где $\Theta_{\text{фр.ВЭ}}$ – относительная погрешность воспроизведения длительности фронта импульсов на выходе государственного вторичного эталона 2.1.ZZA.0058.2015 (ВЭ 2.1.ZZA.0057.2015, в соответствии с технической документацией на соответствующее средство измерений), %;

$\Theta_{\text{осц. V. вн}} = 2,0 \%$ – относительная погрешность осциллографа Tektronix DPO 71604C при определении амплитуды импульсов напряжения в установившемся режиме на выходе измерителя;

$\Theta_{\text{осц. T. вн}} = 2,0 \%$ – относительная погрешность осциллографа Tektronix DPO 71604C при определении длительности фронта импульса между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе измерителя.

10.4.2 Измеритель признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если пределы относительной погрешности измерений времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды не превышают $\pm 15 \%$.

10.5 Определение диапазона измеряемых значений амплитуд импульсов силы тока

10.5.1 В качестве верхней границы диапазона измеряемых значений амплитуды импульсов силы тока устанавливается значение $\pm 2,0 \cdot 10^5$ А, если пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента преобразования, определенные по 10.2, не превышают установленных пределов $\pm 10 \%$.

В качестве нижней границы рабочего диапазона амплитуд импульсов силы тока устанавливается значение $\pm 5,0 \cdot 10^3$ А, что обусловлено типовыми значениями амплитудно-временных характеристик осциллографов, применяемых для регистрации выходных импульсов напряжения при применении измерителя.

10.5.2 Измеритель признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если диапазон измеряемых значений амплитуд импульсов силы тока составляет \pm (от $5 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^5$) и на зафиксированных осциллограммах по 9.1 наблюдалась стабильная форма регистрируемых импульсов.

11 Оформление результатов поверки

11.1 Результаты поверки оформляются протоколом поверки. Рекомендуемая форма протокола поверки приведена в приложении А. Протокол может храниться на электронных носителях.

11.2 При положительных результатах поверки по заявлению владельца средства измерений может быть оформлено свидетельство о поверке в установленной форме. В случае, если по результатам поверки средство измерений соответствует обязательным требованиям к эталону в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений передаются сведения как о средстве измерений, применяемом в качестве эталона, с приложением протокола поверки.

11.3 При отрицательных результатах поверки по заявлению владельца средства измерений может быть оформлено извещение о непригодности в установленной форме с указанием причин непригодности.

11.4 Сведения о результатах поверки (как положительные, так и отрицательные) передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Начальник лаборатории
ФГУП «ВНИИОФИ»

Ведущий научный сотрудник
ФГУП «ВНИИОФИ»

К.Ю. Сахаров

О.В. Михеев

А.4 Заключение по результатам поверки

Метрологическая характеристика	Полученные значения	Требования методики поверки
Диапазон измеряемых значений амплитуды импульсов силы тока, А		\pm (от $5 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^5$)
Коэффициент преобразования, В/А		от $0,5 \cdot 10^{-5}$ до $1,5 \cdot 10^{-5}$
Пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента преобразования, %		± 10 , не более
Время нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды, мкс		0,5, не более
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды, %		± 15 , не более

Рекомендации

Средство измерений признать пригодным (или непригодным) для применения

Срок очередной поверки _____ 20 ____ г.

Поверитель:

подпись

инициалы, фамилия

дата

Руководитель:

подпись

инициалы, фамилия

дата