

СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора



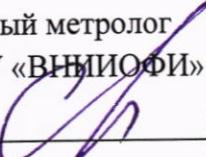
Е.А. Гаврилова

2023 г.

**«ГСИ. Канал измерительный токовый КИТ-200.
Методика поверки»**

МП 038.М12-23

Главный метролог
ФГБУ «ВНИИОФИ»


С.Н. Негода
«05» 10 2023 г.

Москва 2023

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на канал измерительный токовый КИТ-200 и устанавливает методы и средства его первичной и периодической поверок.

1.2 Канал измерительный токовый КИТ-200 (далее – канал) предназначен для измерений амплитудно-временных параметров импульсов силы тока (в том числе молниевых разрядов) с микросекундной длительностью фронта.

Принцип действия канала 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.

1.3 По итогам проведения поверки должна обеспечиваться прослеживаемость к ГЭТ 202-2012 в соответствии с ГОСТ 8.644-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений силы импульсного тока молниевого разряда в диапазоне от 1 до 100 кА» и ГЭТ 182-2010 в соответствии с «Государственной поверочной схемы для средств измерений импульсного электрического напряжения» (далее - ГПС), утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) от 30 декабря 2019 г. № 3463.

1.4 Поверка канала выполняется методом косвенных измерений.

1.5 Канал обеспечивает следующие метрологические характеристики:

- диапазон измеряемых значений амплитуды импульсов силы тока: от $1,0 \cdot 10^4$ до $2,0 \cdot 10^5$ А;

- коэффициент преобразования: $3,0 \cdot 10^{-6} \pm 0,5 \cdot 10^{-6}$ В/А (на нагрузке 50 Ом) и $6,0 \cdot 10^{-6} \pm 1,0 \cdot 10^{-6}$ В/А (на нагрузке 1 МОм);

- пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента преобразования: $\pm 15\%$;

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

- пределы допускаемой относительной погрешности измерений времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды: $\pm 15\%$;

- время спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды не менее 1,0 мс;

- пределы допускаемой относительной погрешности измерений времени спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды: $\pm 15\%$.

Примечания – Максимальная измеряемая амплитуда импульсов силы тока канала КИТ-200 соответствует «Квалификационным требованиям КТ-160G «Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования (внешние воздействующие факторы). Требования, нормы и методы испытаний» (далее - КТ-160G), раздел 23, при этом верхнее значение диапазона измерений амплитуды импульсного тока соответствует максимальному значению тока молниевого разряда (компоненты «A») 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

№ п/п.	Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
		первичной поверке	периодической поверке	
1	Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
2	Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8
3	Определение метрологических характеристик средства измерений			9
4	Определение коэффициента преобразования	Да	Да	9.1
5	Определение времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды	Да	Нет	9.2
6	Определение времени спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды	Да	Нет	9.3
7	Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям			10
8	Расчет коэффициента преобразования	Да	Да	10.1
9	Расчет относительной погрешности коэффициента преобразования	Да	Нет	10.2
10	Расчет времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды	Да	Нет	10.3
11	Расчет относительной погрешности измерений времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды	Да	Нет	10.4
12	Расчет времени спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды	Да	Нет	10.5

№ п/п.	Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики проверки, в соответствии с которым выполняется операция проверки
		первой проверке	периодической проверке	
13	Расчет относительной погрешности измерений времени спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды	Да	Нет	10.6
14	Определение диапазона измеряемых значений амплитуды импульсов силы тока	Да	Нет	10.7

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

2.3 Первичная (периодическая) поверка, проводится на основании письменного заявления владельца средств измерений или лица, представившего их на поверку, оформленного в произвольной форме.

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки соблюдают следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °C от 20 до 30;
 - относительная влажность воздуха, % не более 70;
 - 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.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К проведению поверки допускаются лица, изучившие настоящую методику поверки, руководство по эксплуатации (РЭ) на канал, правила 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.

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

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении первичной и периодической поверок применяются средства

проверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки

Операции 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	<p>Средства измерений температуры воздуха от 20 °C до 30 °C и пределами допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерений температуры ± 1 °C.</p> <p>Средства измерений относительной влажности до 70 % и пределами допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерений относительной влажности ± 3 %.</p> <p>Средства измерений давления воздуха от 94 до 107 кПа и пределами допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерений давления ± 0,5 кПа.</p> <p>Средства измерений напряжение питания сети в диапазоне от 207 до 253 В и относительной погрешностью измерений не более 3 %.</p> <p>Средства измерений частоты питающей сети в диапазоне от 49 до 51 Гц и относительной погрешностью измерений не более 3 %</p>	<p>Измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп», рег. №32014-06</p> <p>Вольтметр универсальный В7-54М, рег. №50973-12</p>
п.8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	<p>Эталоны единицы силы импульсного тока и средства измерений, соответствующие требованиям к вторичным эталонам по ГОСТ 8.644-2014 с максимальной воспроизводимой амплитудой силы импульсного тока $1,0 \cdot 10^5$ А, временем нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установленного значения не более 25 нс; длительностью переходной характеристики на уровне 0,5 от установленного значения при номинальном значении силы импульсного тока, не менее 10 с</p> <p>Средства измерений (осциллографические регистраторы) в диапазоне измерений амплитуды электрического напряжения от 10 мВ до 1 В, полосой пропускания не менее 500 МГц, входным сопротивлением 1 МОм/50 Ом и относительной погрешностью измерений амплитудно-временных значений регистрируемых сигналов ± 3 %</p>	<p>Вторичный эталон единицы силы импульсного тока 2.1.ZZA.0058.2015</p> <p>Осциллограф цифровой Tektronix TDS 784D, рег.№ 19296-00</p> <p>Осциллограф цифровой Tektronix DPO71604C, рег.№ 48470-11</p>

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения проверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п.9 Определение метрологических характеристик средства измерений	<p>Эталоны единицы силы импульсного тока и средства измерений, соответствующие требованиям к вторичным эталонам по ГОСТ 8.644-2014 с максимальной воспроизводимой амплитудой силы импульсного тока $1,0 \cdot 10^5$ А, временем нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения не более 25 нс; длительностью переходной характеристики на уровне 0,5 от установившегося значения при номинальном значении силы импульсного тока, не менее 10 с</p>	Вторичный эталон единицы силы импульсного тока 2.1.ZZA.0058.2015
	<p>Эталоны единицы силы импульсного тока и средства измерений, соответствующие требованиям к вторичным эталонам по ГОСТ 8.644-2014 с диапазоном значений силы импульсного тока, в котором эталон хранит и передает значение величины от 0,1 до $1,0 \cdot 10^4$ А, временем нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения не более 1 мкс</p>	Вторичный эталон единицы силы импульсного тока 2.1.ZZA.0057.2015
	<p>Эталон единицы импульсного электрического напряжения не ниже уровня рабочего эталона 2-го разряда (осциллографический регистратор) по ГПС утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) от 30 декабря 2019 г. №3463 в диапазоне измерений амплитуды электрического напряжения от 10 мВ до 1 В, полосой пропускания не менее 500 МГц, входным сопротивлением 1 МОм/50 Ом и относительной погрешностью измерений амплитудно-временных значений регистрируемых сигналов $\pm 3\%$</p>	Осциллограф цифровой Tektronix CSA8000B, рег.№ 40566-09
	<p>Средства измерений (осциллографические регистраторы) в диапазоне измерений амплитуды электрического напряжения от 10 мВ до 1 В, полосой пропускания не менее 500 МГц, входным сопротивлением 1 МОм/50 Ом и относительной погрешностью измерений амплитудно-временных значений регистрируемых сигналов $\pm 3\%$</p>	Осциллограф цифровой Tektronix TDS 784D, рег.№ 19296-00 Осциллограф цифровой Tektronix CSA8000B, рег.№ 40566-09.

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
		Осциллограф цифровой Tektronix DPO71604C, рег.№ 48470-11
	Средства измерений (генераторы импульсов напряжения) с диапазоном установки амплитуды на нагрузке 50 Ом от 0,1 до 100 В, погрешностью установки амплитуды $\pm 5\%$ и длительностью выходных импульсов от 50 нс до 100 с	Генератор импульсов Г5-102, рег.№ 39224-08

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 (проверены) в установленном порядке.

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 Перед началом поверки необходимо изучить руководство по эксплуатации на канал 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 канал.

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 канала.

Комплектность канала должна соответствовать таблице 3.

Таблица 3 – Комплектность средства измерений

Наименование	Обозначение	Количество
Канал измерительный токовый:	КИТ-200	1 шт.
Шунт коаксиальный импульсный	ШК-200	1 шт.
Передающий блок	ВОС-6 ПП	1 шт.
Приёмный блок	ВОС-6 ФП	1 шт.
Волоконно-оптический кабель	ВОК	1 шт.

Наименование	Обозначение	Количество
Руководство по эксплуатации	УЕРА.90.120.50.10 РЭ	1 экз.
Формуляр	УЕРА.90.120.50.10 ФО	1 экз.
Упаковка	—	1 шт.

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

7.3 Канал 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.

Проверить условия проведения поверки при помощи измерителя параметров микроклимата «Метеоскоп» и вольтметра универсального.

8.2 Используемые средства поверки разместить, заземлить и соединить в соответствии с требованиями их технической документации.

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

8.4 При опробовании канала 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 (далее - ВЭ) к входу шунта коаксиального импульсного ШК-200 (далее - шунта ШК-200) из состава канала (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 приёмного блока ВОС-6 ФП и далее с помощью радиочастотного кабеля соединяют выходной разъем передающего блока ВОС-6 ПП с входом используемого цифрового осциллографа Tektronix. Устанавливают входное сопротивление на осциллографе 50 Ом. Подготавливают канал 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 канала и проверки его метрологических характеристик

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

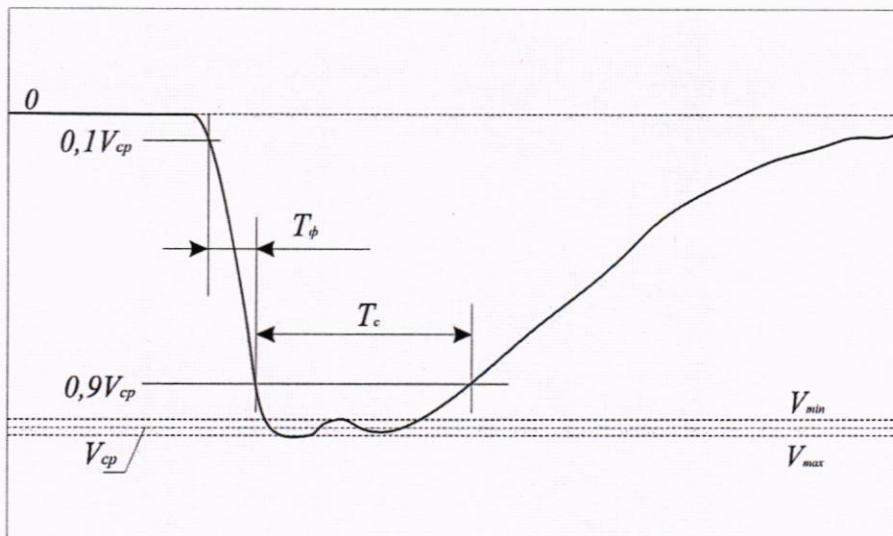


Рисунок 2 – Эпюра напряжения на выходе канала при определении метрологических характеристик

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

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

8.8 Канал признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если значение коэффициента преобразования $K_{\text{пр.опр}}$, В/А, составляет: $3,0 \cdot 10^{-6} \pm 0,5 \cdot 10^{-6}$ В/А (на нагрузке 50 Ом).

9 Определение метрологических характеристик средства измерений

9.1 Определение коэффициента преобразования

9.1.1 Проводят работы по 8.5, воспроизводят импульс силы тока на выходе ВЭ 2.1.ZZA.0058.2015 с амплитудой $I_{ВЭ.100}$, А, порядка 100 кА и обеспечивают с помощью осциллографа Tektronix регистрацию импульсов напряжения на выходе канала (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 10 раз ($n = 10$).

9.1.4 Устанавливают входное сопротивление (нагрузку) на осциллографе 1 МОм и проводят аналогичные работы по 9.1.1 – 9.1.3.

9.1.5 Определяют диапазон выходных напряжений на выходе шунта ШК-200 при работе канала.

Минимальное напряжение $U_{ШК-200.\min}$, В, на выходе шунта ШК-200 при работе канала при регистрации импульсов силы тока амплитудой 10 кА (нижняя точка рабочего диапазона канала) определяют по формуле

$$U_{ШК-200.\min} = I_{ВЭ.100} \cdot R_{ШК-200} / 10, \quad (2)$$

где $R_{ШК-200} = 5,91 \cdot 10^{-4}$ Ом – номинальное сопротивление шунта ШК-200 (в соответствии с руководством по эксплуатации на средство измерений).

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

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

9.1.6 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 $U_{имп.Г5-102.1}$, В, выходных импульсов напряжения равной (с точностью $\pm 10\%$) рассчитанному по формуле (2) значению $U_{ШК-200.\min}$, В, длительность $T_{имп.Г5-102}$, с, порядка 1 с и проводят регистрацию импульсов напряжения на выходе ВОС с помощью осциллографа. С помощью маркеров осциллографа определяют амплитуду $U_{имп.ВОС.1}$, В, зарегистрированных и передаваемых по волоконно-оптической линии связи импульсов напряжения.

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

9.1.8 Работы по 9.1.6 – 9.1.7 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 10 кА и обеспечивают с помощью осциллографа Tektronix регистрацию импульсов напряжения на выходе канала. 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 канала.

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 длительность фронта T_{ϕ_i} , с, $i=1\dots 10$ между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе канала.

9.3 Определение времени спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды

9.3.1 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 10 кА и обеспечивают с помощью осциллографа Tektronix регистрацию импульсов напряжения на выходе канала. По полученной осциллограмме (см. рисунок 2) при помощи маркеров осциллографа определяют время спада T_{c_i} , с, зарегистрированных импульсов по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе канала.

9.3.2 Работы по 9.3.1 последовательно проводят десять раз и определяют для каждого измерения время спада T_{c_i} , с, $i=1\dots 10$ зарегистрированных импульсов по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе канала.

10 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Расчет коэффициента преобразования

10.1.1 Используя измеренные значения по 9.1.1 – 9.1.3, вычисляют средние арифметические значения \bar{V}_{\max} , В, и \bar{V}_{\min} , В, на нагрузке 50 Ом по формулам

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

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

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

Относительную погрешность, обусловленную неравномерностью вершины импульса на выходе канала $\Theta_{\text{нер.вер.}}$, % (отклонение амплитуды импульса от среднего уровня), определяют по формуле

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

Значение коэффициента преобразования $K_{\text{пр.50Ом}}$, В/А, канала на нагрузке 50 Ом определяют по формуле

$$K_{\text{пр.}50\Omega} = (\bar{V}_{\max} + \bar{V}_{\min}) / (2 \cdot I_{B3,100}) \quad (7)$$

10.1.2 Используя измеренные значения по 9.1.4, проводят аналогичные работы по 10.1.1 и вычисляют значение коэффициента преобразования $K_{\text{пр.}1\text{M}\Omega}$, В/А, канала на нагрузке 1 МОм.

10.1.3 Канал признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если значение коэффициента преобразования составляет: $3,0 \cdot 10^{-6} \pm 0,5 \cdot 10^{-6}$ В/А (на нагрузке 50 Ом) и $6,0 \cdot 10^{-6} \pm 1,0 \cdot 10^{-6}$ В/А (на нагрузке 1 МОм).

10.2 Расчет относительной погрешности коэффициента преобразования

10.2.1 Используя полученные значения по 10.1.1, вычисляют средние квадратические отклонения среднего арифметического (СКО) $S(\bar{V}_{\max})$ и $S(\bar{V}_{\min})$, %, измерений максимального V_{\max} , В, и минимального V_{\min} , В, значений напряжения на выходе канала на нагрузке 50 Ом и получают оценку СКО коэффициента преобразования $S(K_{\text{пр}})$, %, по формулам

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

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

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

Доверительные границы случайной погрешности измерений коэффициента преобразования (без учета знака), $\varepsilon_{K_{\text{пр.}50\Omega}}$, %, при доверительной вероятности $P = 0,95$ и $n = 10$ находят по формуле

$$\varepsilon_{K_{\text{пр.}50\Omega}} = 2,262 \cdot S(K_{\text{пр}}) \quad (11)$$

10.2.2 Используя полученные значения по 10.1.2, проводят аналогичные работы по 10.2.1 и находят доверительные границы случайной погрешности измерений коэффициента преобразования (без учета знака), $\varepsilon_{K_{\text{пр.}1\text{M}\Omega}}$, %, при доверительной вероятности $P = 0,95$ и $n = 10$ на нагрузке 1 МОм.

10.2.3 Доверительные границы случайной составляющей погрешности коэффициента преобразования $\varepsilon_{K_{\text{пр}}}$, %, в предположении о нормальном распределении результатов измерений входящих величин при доверительной вероятности $P=0,95$ и числе измерений $n = 10$ при работе на нагрузку 50 Ом/1МОм принимают равными максимальному значению из $\{\varepsilon_{K_{\text{пр.}50\Omega}}, \varepsilon_{K_{\text{пр.}1\text{M}\Omega}}\}$.

10.2.4 Доверительные границы неисключенной систематической составляющей погрешности коэффициента преобразования $\Theta_{K_{\text{пр.}50\Omega}}$, %, при доверительной вероятности $P=0,95$ и поправочном коэффициенте $k = 1,1$ при работе на нагрузку 50 Ом определяют по формуле

$$\Theta_{K_{\text{пр.}50\Omega}} = 1,1 \cdot (\Theta_{B3}^2 + \Theta_{V_{\max}}^2 + \Theta_{V_{\min}}^2 + \Theta_{\text{неп.вер}}^2 + \Theta_{\text{ВОС}}^2 + \Theta_{\text{К200}}^2)^{1/2}, \quad (12)$$

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

$\Theta_{V_{max}}$ – относительная погрешность используемого осциллографа Tektronix при определении максимальной амплитуды V_{max} импульсов напряжения на выходе канала (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{V_{min}}$ – относительная погрешность используемого осциллографа Tektronix при определении минимальной амплитуды V_{min} импульсов напряжения на выходе канала (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{неп.вер}$ – относительная погрешность, обусловленная неравномерностью вершины импульса на выходе канала (отклонение амплитуды импульса от среднего уровня), рассчитанная в соответствии с формулой 6, %;

$\Theta_{ВОС}$ – относительная погрешность (нелинейность) коэффициента передачи волоконно-оптической системы ВОС в рабочем диапазоне выходных напряжений при работе канала, рассчитанная в соответствии с 10.2.5, %;

Θ_{K200} – относительная погрешность, обусловленная изменением сопротивления шунта ШК-200 вследствие джоулевого нагрева при протекании импульсов тока амплитудой 200 кА, рассчитанная в соответствии с 10.2.6, %.

Аналогично, по формуле 12, рассчитываются доверительные границы неисключенной систематической составляющей погрешности коэффициента преобразования $\Theta_{K_{пр.1МОм}}$, %, при доверительной вероятности $P=0,95$ и поправочном коэффициенте $k = 1,1$ при работе на нагрузку 1 МОм.

Доверительные границы неисключенной систематической составляющей погрешности коэффициента преобразования $\Theta_{K_{пр}}$, %, при доверительной вероятности $P=0,95$ и поправочном коэффициенте $k = 1,1$ при работе на нагрузку 50 Ом/1 МОм принимают равными максимальному значению из $\{\Theta_{K_{пр.50Ом}}, \Theta_{K_{пр.1МОм}}\}$.

10.2.5 Расчет относительной погрешности $\Theta_{ВОС}$

10.2.5.1 Используя результаты измерений по 9.1.5 – 9.1.8, определяют в точке с амплитудой $U_{имп.Г5-102.1}$, В, коэффициент передачи $K_{пр.1.ВОС}$, В/В, ВОС по формуле

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

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

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

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

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

10.2.5.3 Работы по 10.2.5.1 – 10.2.5.2 проводят для отрицательной полярности выходных сигналов генераторов и определяют $\Theta_{ВОС.отр}$, %.

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

10.2.6 Расчет относительной погрешности $\Theta_{\text{K}200}$

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

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

где $\alpha = 3 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$ – температурный коэффициент сопротивления манганина, из которого изготовлена активная часть ШК-200;

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

10.2.6.2 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;

$m = 6,6 \cdot 10^{-2}$ кг – масса активной части шунта ШК-200, кг;

$c = 407 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ – удельная теплоемкость материала активной части шунта (манганин).

Количество теплоты W , Дж, определяется по формуле

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

где $R_{\text{ШК-200}} = 5,91 \cdot 10^{-4}$ Ом – номинальное сопротивление шунта ШК-200 (в соответствии с технической документацией на средство измерений), Ом;

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

$I = 200 \text{ кА}$ – амплитуда импульса тока.

Примечание – в соответствии с КТ-160G, раздел 23 максимальная энергия выделяется в шунте при протекании компоненты А испытательного тока молнии, имеющей амплитуду 200 кА и время нарастания T_h менее 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.

10.2.7 Доверительные границы $\delta_{K_{\text{пр}}}, \%$, относительной погрешности коэффициента преобразования канала вычисляют по полученным значениям случайной и неисключенной систематической погрешности в соответствии с ГОСТ 8.736 по формуле

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

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

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

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

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

Коэффициент K вычисляют по формуле

$$K = \frac{\varepsilon_{Knp} + \theta_{Knp}}{S(K_{np}) + S_{\theta}}. \quad (21)$$

10.2.8 Канал признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента преобразования не превышают $\pm 15\%$.

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, время нарастания переходной характеристики $T_{n.PX.i}$, с, канала между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды, вычисляют по формуле

$$T_{n.PX.i} = \sqrt{T_{\phi_i}^2 - T_{\phi_{p.BE}}^2 - T_{n.PX.osc}^2}, \quad (22)$$

где T_{ϕ_i} – зарегистрированное значение длительности фронта импульсов между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе канала, с;

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

$T_{n.PX.osc}$ – время нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды используемого осциллографа Tektronix (в соответствии с технической документацией на соответствующее средство измерений), с.

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

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

где $T_{n.PX.i}$ – i -ый результат измерений, с;

n – количество измерений.

10.3.3 Канал 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 0,1 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 $\Theta_{n.PX}$, %, относительной погрешности измерений времени нарастания переходной характеристики канала между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды при доверительной вероятности $P = 0,95$ (без учета знака) определяют по формуле

$$\Theta_{n.PX} = 1,1 \sqrt{\Theta_{\phi p.BЭ}^2 + \Theta_{осц.V.bn}^2 + \Theta_{осц.T.bn}^2}, \quad (24)$$

где $\Theta_{\phi p.BЭ}$ – 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), %;

$\Theta_{осц.V.bn}$ – относительная погрешность используемого осциллографа Tektronix при определении амплитуды импульсов напряжения в установившемся режиме на выходе канала (в соответствии с технической документацией на соответствующее средство измерений), %;

$\Theta_{осц.T.bn}$ – относительная погрешность используемого осциллографа Tektronix при определении длительности фронта импульса между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе канала (в соответствии с технической документацией на соответствующее средство измерений), %.

10.4.2 Канал 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 Расчет времени спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды

10.5.1 Используя измеренные значения по 9.3, вычисляют среднее арифметическое значение времени спада переходной характеристики канала, $\bar{T}_{c.PX}$, с, по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды по 10 измерениям по формуле

$$\bar{T}_{c.PX} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{c.PX,i}, \quad (25)$$

где $T_{c.PX,i}$ – i -ый результат измерений, с;

n – количество измерений.

10.5.2 Полученное среднее арифметическое значение времени спада переходной характеристики, $\bar{T}_{c.PX}$, с, по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды принимают за время спада переходной характеристики $T_{c.PX}$, с, канала по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды.

10.5.3 Канал признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если время спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды составляет не менее 1 мс.

10.6 Расчет относительной погрешности измерений времени спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды

10.6.1 Доверительные границы $\Theta_{c.PLX}$, %, относительной погрешности измерений времени спада переходной характеристики канала по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды при доверительной вероятности $P = 0,95$ (без учета знака) определяют по формуле

$$\Theta_{c.PLX} = 1,1 \sqrt{\Theta_{\text{дл.ВЭ}}^2 + \Theta_{\text{осц.В.вн}}^2 + \Theta_{\text{осц.Т.вн}}^2}, \quad (26)$$

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

$\Theta_{\text{осц.В.вн}}$ – относительная погрешность используемого осциллографа Tektronix при определении амплитуды импульсов напряжения в установившемся режиме на выходе канала (в соответствии с технической документацией на соответствующее средство измерений), %;

$\Theta_{\text{осц.Т.вн}}$ – относительная погрешность используемого осциллографа Tektronix при определении спада импульса по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе канала (в соответствии с технической документацией на соответствующее средство измерений), %.

10.6.2 Канал признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если пределы относительной погрешности измерений времени спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды не превышают $\pm 15\%$.

10.7 Определение диапазона измеряемых значений амплитуды импульсов силы тока

10.7.1 В качестве верхней границы диапазона измеряемых значений амплитуды импульсов силы тока устанавливается значение $2,0 \cdot 10^5$ А, если пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента преобразования, определенные по 10.2, не превышают $\pm 15\%$.

В качестве нижней границы рабочего диапазона амплитуд импульсов силы тока устанавливается значение $1,0 \cdot 10^4$ А, что обусловлено типовыми значениями амплитудно-временных характеристик осциллографов, применяемых для регистрации выходных импульсов напряжения при применении канала.

10.7.2 Канал признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если диапазон измеряемых значений амплитуд импульсов силы тока составляет от $1,0 \cdot 10^4$ до $2,0 \cdot 10^5$ А, на зафиксированных осциллограммах по 8 и 9 наблюдалась стабильная форма регистрируемых импульсов и отсутствовали пробои по высоковольтным частям изделия.

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 Канал считается прошедшим поверку с положительным результатом и допускается к применению, если все операции поверки пройдены с положительным результатом, а также соблюдены требования по защите средства измерений от несанкционированного вмешательства. В ином случае канал считается прошедшим поверку с отрицательным результатом и не допускается к применению.

11.3 По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, с учетом требований методики поверки аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, в случае положительных результатов поверки (подтверждено соответствие средства измерений метрологическим требованиям) выдает свидетельство о поверке, оформленное в соответствии с требованиями к содержанию свидетельства о поверке, утвержденными приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31.07.2020 № 2510. Нанесение знака поверки на средство измерений не предусмотрено.

11.4 По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, с учетом требований методики поверки аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, в случае отрицательных результатов поверки (не подтверждено соответствие средства измерений метрологическим требованиям) выдает извещение о непригодности к применению средства измерений.

11.5 Сведения о результатах поверки (как положительных, так и отрицательных) передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Начальник лаборатории
ФГБУ «ВНИИОФИ»

Ведущий научный сотрудник
ФГБУ «ВНИИОФИ»

К.Ю. Сахаров

О.В. Михеев

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(Рекомендуемое)
Форма протокола поверки

ПРОТОКОЛ ПЕРВИЧНОЙ / ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ № _____
«Канал измерительный токовый КИТ-200»
(регистрационный № _____)

Заводской номер:

02-23

Год выпуска: 20_____

Владелец СИ:

ИНН владельца СИ:

Применяемые эталоны:

Вторичный эталон единицы силы импульсного тока 2.1.ZZA.0058.2015 по ГОСТ 8.644-2014.

Вторичный эталон единицы силы импульсного тока 2.1.ZZA.0057.2015 по ГОСТ 8.644-2014.

Эталон единицы импульсного электрического напряжения не ниже уровня рабочего эталона 2-го разряда (осциллографический регистратор) по ГПС утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) от 30 декабря 2019 г. №3463.

МП 038.М12-23 «ГСИ. Канал измерительный токовый КИТ-200. Методика поверки.»

Применяемая методика поверки:

- температура окружающего воздуха, °C _____;
- относительная влажность воздуха, % _____;
- атмосферное давление, кПа _____;
- напряжение питания сети, В _____;
- частота сети, Гц _____.

Место проведения поверки:

Проведение поверки
А.1 Внешний осмотр _____

А.2 Опробование _____

А.3 Определение метрологических характеристик средства измерений

Результаты измерений при определении коэффициента преобразования и относительной погрешности коэффициента преобразования записываются в соответствии с рисунком А.1.

Таблица _____

№ изм.	V_{min} , В	V_{max} , В
1		
...		
10		

Рисунок А.1 – Форма записи результатов измерений при определении коэффициента преобразования и относительной погрешности коэффициента

Результаты измерений при определении времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды записываются в соответствии с рисунком А.2.

Таблица _____

№ изм.	T_{ϕ_i} , с
1	
...	
10	

Рисунок А.2 – Форма записи результатов измерений при определении времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды

Результаты измерений при определении времени спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды записывают в соответствии с рисунком А.3.

Таблица _

№ изм.	T_{c_b} , с
1	
...	
10	

Рисунок А.3 – Форма записи результатов измерений при определении времени спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды

A.4 Заключение по результатам поверки

Метрологическая характеристика	Полученные значения	Требования методики поверки
Диапазон измеряемых значений амплитуды импульсов силы тока, А		от $1,0 \cdot 10^4$ до $2,0 \cdot 10^5$
Коэффициент преобразования, В/А: - на нагрузке 50 Ом - на нагрузке 1 МОм		$3,0 \cdot 10^{-6} \pm 0,5 \cdot 10^{-6}$ $6,0 \cdot 10^{-6} \pm 1,0 \cdot 10^{-6}$
Пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента преобразования, %		± 15
Время нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды, мкс, не более		0,1
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды, %		± 15
Время спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды, мс, не менее		1,0
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений времени спада переходной характеристики по уровню 0,9 от установившегося значения амплитуды, %		± 15

Рекомендации

Средство измерений признать пригодным (или непригодным) для применения

Срок очередной поверки _____ 20 ____ г.

Поверитель:

подпись _____ инициалы, фамилия _____ дата _____

Руководитель:

подпись _____ инициалы, фамилия _____ дата _____