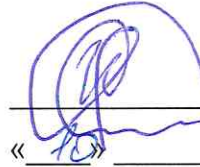


СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора

ФГУП «ВНИИОФИ»



И.С. Филимонов

«10» 06 2022 г.



**«ГСИ. Ответвитель волновой АТ26.3N5-009. Методика поверки»**

**МП 022.M12-22**

Главный метролог

ФГУП «ВНИИОФИ»



С.Н. Негода

«10» 06 2022 г.

Москва 2022

## 1 Общие положения

Настоящая методика поверки распространяется на ответвитель волновой АТ26.3н5-009 и устанавливает методы и средства его первичной и периодической поверок.

Ответвитель волновой АТ26.3н5-009 (далее по тексту – ответвитель) предназначен для измерений амплитудно-временных параметров высоковольтных импульсов напряжения наносекундной длительности со сверхкоротким фронтом. Принцип действия ответвителя основан на преобразовании с помощью полосковой линии напряженности импульсной электромагнитной ТЕМ-волны, распространяющейся в коаксиальном волноводном тракте, в пропорциональный по величине электрический сигнал, доступный для осциллографической регистрации.

По итогам проведения поверки должна обеспечиваться прослеживаемость к ГЭТ 148-2021 и ГЭТ 182-2010.

Поверка ответвителя выполняется методом прямых измерений.

Ответвитель обеспечивает следующие метрологические характеристики:

- максимальное измеряемое значение амплитуды импульсов напряжения: при длительности входных импульсов по уровню 0,5 от амплитуды не более 300 пс:  $1,0 \cdot 10^5$  В; при длительности входных импульсов по уровню 0,5 от амплитуды от 300 пс до 3,5:  $5,0 \cdot 10^4$  В;
- коэффициент деления от 111 до 131 В/В;
- пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента деления:  $\pm 20$  %;
- время нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды не более 60 пс;
- длительность переходной характеристики по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды не менее 3,5 нс;
- пределы допускаемой относительной погрешности измерений временных интервалов:  $\pm 20$  %.

## 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 деления и относительной погрешности коэффициента деления                                           | 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                                                                                            |
| Определение длительности переходной характеристики по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды                      | Да                                             | Да                    | 9.3                                                                                            |

|                                                                               |    |    |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|----|-----|
| Определение максимального измеряемого значения амплитуды импульсов напряжения | Да | Да | 9.4 |
| 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 – 9.4 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, % от 50 до 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 ответитель 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 единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей не ниже уровня вторичного эталона единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 28 сентября 2018 г. №2087 с характеристиками: номинальные значения (для генератора ступенчатых импульсов напряжения): амплиту- | Вторичный эталон единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей 2.1.ZZA.0055.2015 по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 28 сентября 2018 г. №2087 |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>да воспроизводимых импульсов напряжения от 1 до 15 В; длительность фронта воспроизводимых импульсов напряжения между уровнями от 0,1 до 0,9 от амплитуды: 10 пс; длительность воспроизводимых импульсов напряжения по уровню 0,5 от амплитуды: 25 нс; погрешность воспроизведения амплитуды импульсов напряжения от 4,0 до 9,0 %</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  | <p>Эталон единицы импульсного электрического напряжения не ниже уровня рабочего эталона 2-го разряда по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. №3463 с характеристиками: полоса пропускания 20/50 ГГц; диапазон коэффициента отклонения от 1 до 100 мВ/дел; диапазон коэффициента развертки от 1 пс/дел до 10 мс/дел; пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента отклонения <math>\pm (1 - 3) \%</math>; входное сопротивление (при температуре окружающего воздуха 25 °С): 50 Ом <math>\pm 1,5 \%</math></p>                                                                                                                                                                                                                                         | <p>Осциллограф цифровой стробоскопический широкополосный Tektronix CSA8000B (регистрационный номер 40566-09) – рабочий эталон единицы импульсного электрического напряжения 2-го разряда по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. №3463</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 <math>\pm 2 \%</math>, входное сопротивление 50 Ом</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>Осциллограф цифровой Tektronix DPO 71604C (регистрационный номер 48470-11)</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 <math>\pm (0,004 \% \cdot U + 4 \text{ мкВ})</math> в пределе измерений 0,2 В до <math>\pm (0,005 \% \cdot U + 20 \text{ мВ})</math> в пределе измерений до 1000 В, где U – измеряемое значение напряжения, В; пределы измерений сопротивления 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: <math>\pm (0,01 \% \cdot R + 3 \text{ МОм})</math>, где R – измеряемое значение сопротивления, Ом.</p> | <p>Вольтметр универсальный В7-54/3 (регистрационный номер 15250-12)</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</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>Измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп-М», рег. № 32014-11</p>                                                                                                                                                                                            |

|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                | диапазоне от 84 до 106 кПа с абсолютной погрешностью не более 0,13 кПа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| п. 9 Определение метрологических характеристик | Эталон единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей не ниже уровня вторичного эталона единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 28 сентября 2018 г. №2087 с характеристиками: номинальные значения (для генератора ступенчатых импульсов напряжения): амплитуда воспроизводимых импульсов напряжения от 1 до 15 В; длительность фронта воспроизводимых импульсов напряжения между уровнями от 0,1 до 0,9 от амплитуды: 10 пс; длительность воспроизводимых импульсов напряжения по уровню 0,5 от амплитуды: 25 нс; погрешность воспроизведения амплитуды импульсов напряжения от 4,0 до 9,0 % | Вторичный эталон единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей 2.1.ZZA.0055.2015 по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 28 сентября 2018 г. №2087                                                                                |
|                                                | Эталон единицы импульсного электрического напряжения не ниже уровня рабочего эталона 2-го разряда по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. №3463 с характеристиками: полоса пропускания 20/50 ГГц; диапазон коэффициента отклонения от 1 до 100 мВ/дел; диапазон коэффициента развертки от 1 пс/дел до 10 мс/дел; пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента отклонения $\pm (1 - 3) \%$ ; входное сопротивление (при температуре окружающего воздуха 25 °С): 50 Ом $\pm 1,5 \%$                                                                                                                                                                   | Осциллограф цифровой стробоскопический широкополосный Tektronix CSA8000B (регистрационный номер 40566-09) – рабочий эталон единицы импульсного электрического напряжения 2-го разряда по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. №3463 |
|                                                | 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 $\pm 2 \%$ , входное сопротивление 50 Ом                                                                                                                                                                                                                                                          | Осциллограф цифровой Tektronix DPO 71604C (регистрационный номер 48470-11)                                                                                                                                                                                   |
|                                                | Испытательное оборудование по ГОСТ Р 8.568-2017 с характеристиками: диапазон воспроизводимых значений амплитуд импульсов высокого напряжения от 0,1 до 100 кВ; диапазон длительностей фронта воспроизводимых импульсов высокого напряжения между уровнями от 0,1 до 0,9 от амплитуды от 0,1 до 10,0 нс; диапазон длительностей воспроизводимых импульсов высокого напряжения на уровне 0,5 от амплитуды от 0,1 до 100 нс; постоянная времени спада воспроизводимых импульсов высокого напряжения на уровне 0,367 от амплитуды: 150 мкс; относительная погрешность воспро-                                                                                                                  | Испытательный стенд импульсов высокого напряжения ИСИВН-1 по ГОСТ Р 8.568-2017                                                                                                                                                                               |

|  |                                                                        |  |
|--|------------------------------------------------------------------------|--|
|  | изведения амплитуды импульсов высокого напряжения не более $\pm 5,0\%$ |  |
|--|------------------------------------------------------------------------|--|

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 ответвитель 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 ответвитель.

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 ответвителя.

Комплектность ответвителя должна соответствовать таблице 3.

Таблица 3 – Комплектность ответвителя

| Наименование                         | Обозначение  | Количество |
|--------------------------------------|--------------|------------|
| Ответвитель волновой                 | AT26.3n5-009 | 1 шт.      |
| Высоковольтная нагрузка              | —            | 1 шт.      |
| Высокочастотная нагрузка             | —            | 1 шт.      |
| Высоковольтный соединительный кабель | —            | 1 шт.      |
| Измерительный кабель                 | —            | 1 шт.      |
| Руководство по эксплуатации          | —            | 1 экз.     |
| Формуляр                             | —            | 1 экз.     |
| Упаковка                             | —            | 1 шт.      |

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

7.3 Ответвитель 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 ответвителя и средств поверки, регистрацию показаний и другие работы по поверке произведите в соответствии с эксплуатационной документацией на указанные средства.

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

8.5 Собирают и подготавливают к проведению измерений характеристик импульсов напряжения ответвитель в соответствии с его РЭ. Подключают импульсный выход генератора ступенчатых импульсов напряжения TMG1010 из состава вторичного эталона 2.1.ZZA.0055.2015 с помощью 50-омного кабеля в соответствии с рисунком 1 ко входу ответвителя волнового ВО. Устанавливают амплитуду выходных импульсов напряжения генератора  $U_{TMG1010} = 10$  В. Измерительный выход ответвителя волнового соединяют со входом рабочего эталона единицы импульсного электрического напряжения 2-го разряда – осциллографом Tektronix CSA8000B. При измерениях допускается использовать осциллограф Tektronix DPO 71604C. Регистрируют импульсы на экране осциллографа и измеряют их среднюю амплитуду  $U_{вых}$ , В. По формуле (1) вычисляют коэффициент деления  $K_{дел.опр}$ , В/В.

$$K_{дел.опр} = U_{TMG1010} / U_{вых}. \quad (1)$$

8.6 Ответвитель признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если вычисленное значение коэффициента деления  $K_{дел.опр}$ , В/В составляет от 111 до 131 В/В.

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

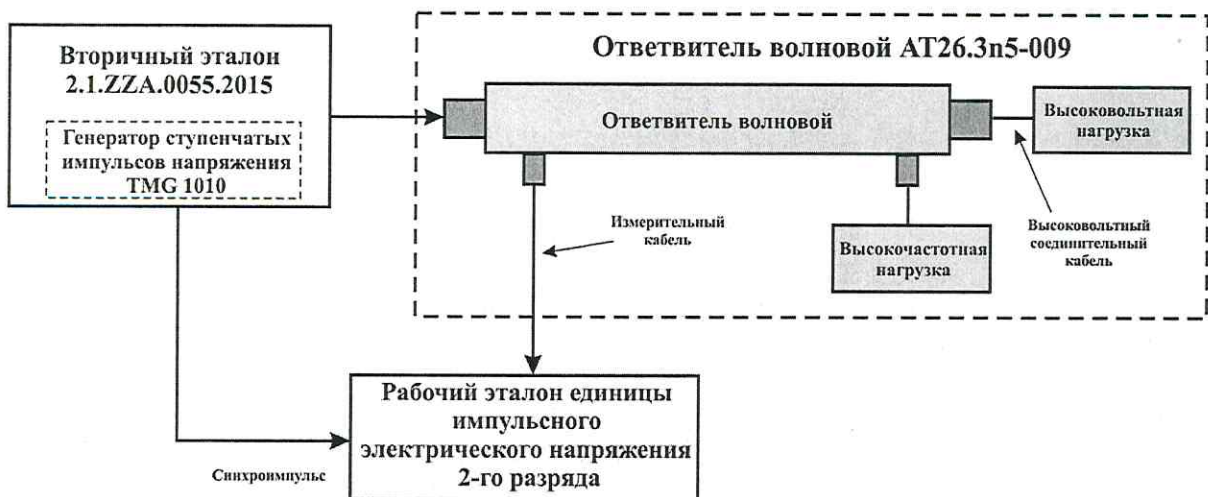


Рисунок 1 – Схема соединений при проведении опробования ответвителя и проверки его метрологических характеристик

## 9 Определение метрологических характеристик средства измерений

### 9.1 Определение коэффициента деления и относительной погрешности коэффициента деления

9.1.1 Проводят работы по 8.5, воспроизводят импульсы напряжения на выходе генератора TMG1010 из состава вторичного эталона 2.1.ZZA.0055.2015 с установленной амплитудой  $U_{TMG1010}$ , В, и обеспечивают регистрацию импульсов напряжения на выходе ответвителя (см. рисунок 2) с помощью осциллографа Tektronix CSA8000B.

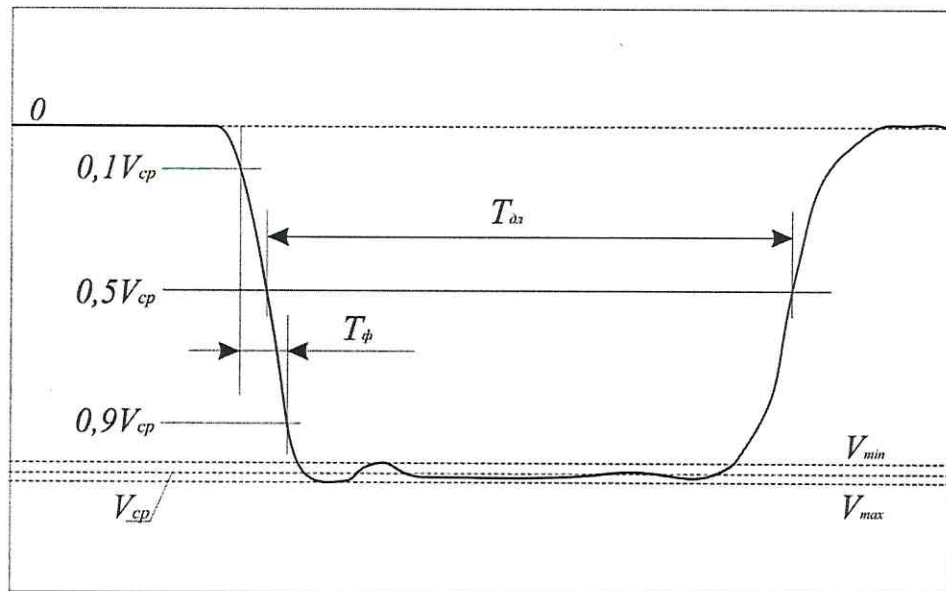


Рисунок 2 – Эпюра напряжения на выходе ответвителя при определении метрологических характеристик

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

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

9.1.3 Измерения по 9.1.1 – 9.1.2 производят последовательно  $n = 10$  раз.

## 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, воспроизводят импульсы напряжения на выходе генератора TMG1010 с установленной амплитудой  $U_{\text{TMG1010}}$ , В, и длительностью фронта  $T_{\text{фр.TMG1010}}$ , с, из состава вторичного эталона 2.1.ZZA.0055.2015 и обеспечивают регистрацию импульсов напряжения на выходе ответвителя (см. рисунок 2).

9.2.2 С помощью маркеров осциллографа определяют длительность фронта  $T_{\phi_i}$ , с,  $i = 1$ , зарегистрированных импульсов между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе ответвителя.

9.2.3 Измерения по 9.2.1 – 9.2.2 последовательно проводят десять раз и определяют для каждого измерения длительность фронта импульсов на выходе ответвителя между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды  $T_{\phi_i}$ , с,  $i = 1...10$ .

## 9.3 Определение длительности переходной характеристики по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды

9.3.1 Проводят работы по 8.5, воспроизводят импульсы напряжения на выходе генератора TMG1010 с установленной амплитудой  $U_{\text{TMG1010}}$ , В, и длительностью  $T_{\text{дл.TMG1010}}$ , с, из состава вторичного эталона 2.1.ZZA.0055.2015 и обеспечивают регистрацию импульсов напряжения на выходе ответвителя (см. рисунок 2).

9.3.2 С помощью маркеров осциллографа определяют длительность  $T_{\text{дл}_i}$ , с,  $i = 1$ , зарегистрированных импульсов по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды на выходе ответвителя.

9.3.3 Измерения по 9.3.1 – 9.3.2 последовательно проводят десять раз и определяют для каждого измерения длительность  $T_{\text{дл}_i}$ , с,  $i = 1...10$  импульсов на выходе ответвителя по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды.

#### 9.4 Определение максимального измеряемого значения амплитуды импульсов напряжения

9.4.1 Собирают ответвитель и подготавливают его к проведению измерений в соответствии с его РЭ. Подключают импульсный выход высоковольтного полупроводникового генератора ступенчатых импульсов ГИН-100 из состава испытательного стенда импульсов высокого напряжения ИСИВН-1 с помощью высоковольтного соединительного кабеля в соответствии с рисунком 3 ко входу ответвителя волнового.



Рисунок 3 – Схема соединений при определении максимального измеряемого значения амплитуды импульсов напряжения ответвителя

9.4.2 Устанавливают амплитуду выходных импульсов напряжения генератора  $U_{\text{ГИН-100}} = 100$  кВ, а длительность не более 300 пс. Измерительный выход ответвителя волнового соединяют со входом осциллографа Tektronix DPO 71604C, при необходимости используют высоковольтные ослабители сигналов из состава ИСИВН-1 с коэффициентом ослабления  $K_{\text{ос.ВВ}}$ , В/В. Воспроизводят импульсы напряжения с генератора ГИН-100 и обеспечивают регистрацию импульсов напряжения на выходе ответвителя (см. рисунок 3) с помощью осциллографа Tektronix DPO 71604C.

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

- $V_{\text{max.амп.100}}$  – соответствующую максимальному значению амплитуды, В;
- $V_{\text{min.амп.100}}$  – соответствующую минимальному значению амплитуды, В.

9.4.4 Измерения по 9.4.2 – 9.4.3 производят последовательно  $n = 10$  раз.

9.4.5 Подключают импульсный выход высоковольтного полупроводникового генератора ступенчатых импульсов ГИН-60-10 (Г-5) из состава испытательного стенда импульсов высокого напряжения ИСИВН-1 с помощью высоковольтного соединительного кабеля в соответствии с рисунком 3 ко входу волнового ответвителя ВО. Устанавливают амплитуду выходных импульсов напряжения генератора  $U_{\text{ГИН-60-10}} = 50$  кВ, а длительность не менее 3,5 нс, проводят аналогичные работы по 9.4.2 – 9.4.4 и измеряют две величины:

- $V_{\text{max.амп.50}}$  – соответствующую максимальному значению амплитуды, В;
- $V_{\text{min.амп.50}}$  – соответствующую минимальному значению амплитуды, В.

9.4.6 Измерения по 9.4.5 производят последовательно  $n = 10$  раз.

### 10 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

#### 10.1 Расчет коэффициента деления

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

$$\bar{V}_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{\max\_i}, \quad (2)$$

$$\bar{V}_{\min} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{\min\_i}, \quad (3)$$

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 ответвителя,  $\Theta_{\text{нер.вер}}$ , %, определяют по формуле

$$\Theta_{\text{нер.вер}} = (\bar{V}_{\max} - \bar{V}_{\min}) / (\bar{V}_{\max} + \bar{V}_{\min}). \quad (4)$$

10.1.2 Значение коэффициента деления  $K_{\text{дел}}$ , В/В, ответвителя определяют по формуле

$$K_{\text{дел}} = (2 \cdot U_{\text{TMG1010}}) / (\bar{V}_{\max} + \bar{V}_{\min}). \quad (5)$$

## 10.2 Расчет относительной погрешности коэффициента деления

10.2.1 Используя измеренные значения по 10.1, 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 ответвителя и получают оценку СКО коэффициента преобразования  $S(K_{\text{дел}})$ , %, по формулам

$$S(\bar{V}_{\max}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{\max\_i} - \bar{V}_{\max})^2}{n(n-1)}} \cdot \frac{100\%}{\bar{V}_{\max}}, \quad (6)$$

$$S(\bar{V}_{\min}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{\min\_i} - \bar{V}_{\min})^2}{n(n-1)}} \cdot \frac{100\%}{\bar{V}_{\min}} \quad (7)$$

$$S(K_{\text{дел}}) = (S(\bar{V}_{\max})^2 + S(\bar{V}_{\min})^2)^{1/2}. \quad (8)$$

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

$$\varepsilon_{K_{\text{дел}}} = 2,262 \cdot S(K_{\text{дел}}) \quad (9)$$

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

$$\Theta_{K_{\text{дел}}} = 1,1 \cdot (\Theta_{V_{\text{TMG1010}}}^2 + \Theta_{V_{\max}}^2 + \Theta_{V_{\min}}^2 + \Theta_{\text{нер.вер}}^2)^{1/2}, \quad (10)$$

где  $\Theta_{V_{\text{TMG1010}}}$  – относительная погрешность установки амплитуды импульсов напряжения на выходе генератора ступенчатых импульсов напряжения TMG1010 из состава вторичного эталона 2.1.ZZA.0055.2015 (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{V_{\max}}$  – относительная погрешность рабочего эталона единицы импульсного электрического напряжения 2-го разряда (осциллографа Tektronix CSA 8000B) при определении максимальной амплитуды  $V_{\max}$ , В, импульсов напряжения на выходе ответвителя (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{V_{\min}}$  – относительная погрешность рабочего эталона единицы импульсного электрического напряжения 2-го разряда (осциллографа Tektronix CSA 8000B) при определении минимальной амплитуды  $V_{\min}$ , В, импульсов напряжения на выходе ответвителя (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{\text{нер.вер}}$  – относительная погрешность, обусловленная неравномерностью вершины импульса на выходе ответвителя, определяемая по формуле (4), %.

10.2.4 Доверительные границы  $\delta_{K_{\text{дел}}}$ , %, относительной погрешности коэффициента деления ответвителя вычисляют 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

$$\delta_{K_{\text{дел}}} = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (11)$$

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

$S_{\Sigma}$  – суммарное среднее квадратическое отклонение измерения коэффициента деления, определяемое по формуле

$$S_{\Sigma} = 1,1 \sqrt{S_{\theta}^2 + S(K_{\text{дел}})^2}, \quad (12)$$

где  $S_{\theta}$  – СКО неисключенной систематической погрешности измерений коэффициента деления, вычисляемое по формуле

$$S_{\theta} = \frac{\theta_{K_{\text{дел}}}}{1,1\sqrt{3}}. \quad (13)$$

Коэффициент  $K$  вычисляют по формуле

$$K = \frac{\varepsilon_{K_{\text{дел}}} + \theta_{K_{\text{дел}}}}{S(K_{\text{дел}}) + S_{\theta}}. \quad (14)$$

10.2.5 Ответвитель признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если относительная погрешность коэффициента деления не превышает установленных пределов  $\pm 20$  %.

### 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, ответвителя между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды по формуле

$$T_{н.ПХ.i} = \sqrt{T_{\phi.i}^2 - T_{\phiр.ТМГ1010}^2 - T_{н.ПХ.осц}^2}, \quad (15)$$

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

$T_{\phiр.ТМГ1010}$  – длительность фронта воспроизводимых импульсов напряжения между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе генератора ступенчатых

импульсов напряжения TMG1010 из состава вторичного эталона 2.1.ZZA.0055.2015 (в соответствии с технической документацией на средство измерений), с;

$T_{н.ПХ.осц}$  – время нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения рабочего эталона единицы импульсного электрического напряжения 2-го разряда – осциллографа Tektronix CSA 8000B (в соответствии с технической документацией на средство измерений), с.

10.3.2 Работы по 10.3.1 последовательно проводят десять раз и определяют для каждого измерения время нарастания переходной характеристики ответвителя между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды  $T_{н.ПХ.i}$ , с,  $i = 1...10$ .

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

$$\bar{T}_{н.ПХ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{н.ПХ.i}, \quad (16)$$

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

$n$  – количество расчетов.

10.3.4 Ответвитель 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 60 пс.

#### 10.4 Расчет длительности переходной характеристики по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды

10.4.1 Используя измеренные значения по 9.4, вычисляют среднее арифметическое значение длительности  $\bar{T}_{дл}$ , с, по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды ответвителя по 10 измерениям по формуле

$$\bar{T}_{дл} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{дл.i}, \quad (17)$$

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

$n$  – количество измерений.

10.4.2 Полученную величину  $\bar{T}_{дл}$ , с, принимают за значение  $T_{дл.ПХ}$ , с, длительности переходной характеристики ответвителя по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды.

10.4.3 Ответвитель признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если длительность переходной характеристики по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды составляет не менее 3,5 нс.

#### 10.5 Расчет относительной погрешности измерений временных интервалов

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

$$\Theta_{н.ПХ} = 1,1 \sqrt{\Theta_{фр.ТМГ1010}^2 + \Theta_{осц.V.вн}^2 + \Theta_{осц.T.вн}^2}, \quad (18)$$

где  $\Theta_{фр.ТМГ1010}$  – относительная погрешность воспроизведения длительности фронта импульсов на выходе генератора ступенчатых импульсов напряжения TMG1010 из состава

государственного вторичного эталона 2.1.ZZA.0055.2015 (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{\text{осц. V. вн}}$  — относительная погрешность рабочего эталона единицы импульсного электрического напряжения 2-го разряда (осциллографа Tektronix CSA 8000B) при определении амплитуды импульсов напряжения в установившемся режиме на выходе ответвителя (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{\text{осц. T. вн}}$  — относительная погрешность рабочего эталона единицы импульсного электрического напряжения 2-го разряда (осциллографа Tektronix CSA 8000B) при определении длительности фронта импульса между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе ответвителя (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %.

10.5.2 Доверительные границы  $\Theta_{\text{дл. ПХ}}$ , %, относительной погрешности измерений длительности ПХ ответвителя по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды при доверительной вероятности  $P = 0,95$  (без учета знака) определяют по формуле

$$\Theta_{\text{дл. ПХ}} = 1,1 \sqrt{\Theta_{\text{дл. TMG1010}}^2 + \Theta_{\text{осц. V. дл}}^2 + \Theta_{\text{осц. T. дл}}^2}, \quad (19)$$

где  $\Theta_{\text{дл. TMG1010}}$  — относительная погрешность воспроизведения длительности импульсов на выходе генератора ступенчатых импульсов напряжения TMG1010 из состава государственного вторичного эталона 2.1.ZZA.0055.2015 (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{\text{осц. V. дл}}$  — относительная погрешность рабочего эталона единицы импульсного электрического напряжения 2-го разряда (осциллографа Tektronix CSA 8000B) при определении амплитуды импульсов напряжения в установившемся режиме на выходе ответвителя (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{\text{осц. T. дл}}$  — относительная погрешность рабочего эталона единицы импульсного электрического напряжения 2-го разряда (осциллографа Tektronix CSA 8000B) при определении длительности импульса на уровне 0,5 от установившегося значения амплитуды на выходе ответвителя (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %.

10.5.3 Относительная погрешность  $\Theta_{\text{вр. ПХ}}$ , %, измерений временных интервалов при доверительной вероятности 0,95 вычисляется по формуле

$$\Theta_{\text{вр. ПХ}} = \sqrt{\Theta_{\text{н. ПХ}}^2 + \Theta_{\text{дл. ПХ}}^2}. \quad (20)$$

10.5.4 Ответвитель признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если относительная погрешность измерений временных интервалов не превышает установленных пределов  $\pm 20$  %.

## 10.6 Расчет максимального измеряемого значения амплитуды импульсов напряжения

10.6.1 Используя измеренные значения по 9.4.3 – 9.4.4, аналогично по формулам (2) и (3) вычисляют средние арифметические значения  $\bar{V}_{\text{max. ампл. 100}}$ , В, и  $\bar{V}_{\text{min. ампл. 100}}$ , В.

10.6.2 Значение коэффициента деления  $K_{\text{дел. ампл. 100}}$ , В/В, ответвителя при амплитуде входных импульсов напряжения  $U_{\text{ГИН-100}} = 100$  кВ и длительности не более 300 пс определяют по формуле

$$K_{\text{дел. ампл. 100}} = 2 \cdot U_{\text{ГИН-100}} / [(\bar{V}_{\text{max. ампл. 100}} + \bar{V}_{\text{min. ампл. 100}}) \cdot K_{\text{ос. ВВ}}], \quad (21)$$

где  $K_{\text{ос. ВВ}}$  — коэффициент ослабления используемых высоковольтных ослабителей сигналов из состава ИСИН-1, В/В.

10.6.3 Используя результаты измерений по 9.4.5 – 9.4.6, аналогично по формулам (2) и (3) вычисляют средние арифметические значения  $\bar{V}_{\text{max. ампл. 50}}$ , В, и  $\bar{V}_{\text{min. ампл. 50}}$ , В.

10.6.4 Значение коэффициента деления  $K_{\text{дел.амп.50}}$ , В/В, ответвителя при амплитуде входных импульсов напряжения  $U_{\text{ГИН-60-10}} = 50$  кВ и длительности не менее 3,5 нс определяют по формуле

$$K_{\text{дел.амп.50}} = 2 \cdot U_{\text{ГИН-60-10}} / [(\bar{V}_{\text{max.амп.50}} + \bar{V}_{\text{min.амп.50}}) \cdot K_{\text{ос.ВВ}}], \quad (22)$$

10.6.5 Ответвитель признается прошедшим операцию поверки с положительным результатом, если рассчитанные значения коэффициентов деления  $K_{\text{дел.амп.100}}$ , В/В, и  $K_{\text{дел.амп.50}}$ , В/В составляют от 111 до 131 В/В, и в процессе нагружения импульсами высокого напряжения не наблюдалось наличия электрических пробоев по высоковольтным частям ответвителя и пробоев на «землю», а на зафиксированных осциллограммах наблюдалась стабильная форма регистрируемых испытательных 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»



К.Ю. Сахаров

Ведущий научный сотрудник  
ФГУП «ВНИИОФИ»



О.В. Михеев

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
(Рекомендуемое)  
Форма протокола поверки

ПРОТОКОЛ ПЕРВИЧНОЙ / ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ № \_\_\_\_\_

«Ответитель волновой АТ26.3п5-009»  
(регистрационный № \_\_\_\_\_)

Заводской номер: 01 Год выпуска: 20\_\_\_\_

Владелец СИ: \_\_\_\_\_

ИНН владельца СИ: \_\_\_\_\_

Применяемые эталоны: Вторичный эталон единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 28 сентября 2018 г. №2087.  
Рабочий эталон единицы импульсного электрического напряжения 2-го разряда по ГПС, утвержденной Приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. №3463

Применяемая методика поверки: ГСИ. Ответитель волновой АТ26.3п5-009. Методика поверки. МП 022.М12-22

Условия поверки:

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

Место проведения поверки: \_\_\_\_\_, комн. № \_\_\_\_\_.

Проведение поверки

А.1 Внешний осмотр \_\_\_\_\_

А.2 Опробование \_\_\_\_\_

А.3 Определение метрологических характеристик средства измерений

Результаты измерений при определении коэффициента деления и относительной погрешности коэффициента деления записывают 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 деления и относительной погрешности коэффициента деления

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

Таблица \_

| № изм. | $T_{\phi i}$ , с |
|--------|------------------|
| 1      |                  |
| ...    |                  |
| 10     |                  |

Результаты измерений при определении длительности переходной характеристики по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды записывают в соответствии с рисунком А.3.

Таблица \_

| № изм. | $T_{дл\ i, c}$ |
|--------|----------------|
| 1      |                |
| ...    |                |
| 10     |                |

Рисунок А.3 – Форма записи результатов измерений при определении длительности переходной характеристики по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды

Результаты измерений при определении максимального измеряемого значения амплитуды импульсов напряжения записывают в соответствии с рисунком А.4.

Таблица

| № изм. | $V_{\min. \text{амп.} 100, В}$ | $V_{\max. \text{амп.} 100, В}$ | $V_{\min. \text{амп.} 50, В}$ | $V_{\max. \text{амп.} 50, В}$ |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1      |                                |                                |                               |                               |
| ...    |                                |                                |                               |                               |
| 10     |                                |                                |                               |                               |

Рисунок А.4 – Форма записи результатов измерений при определении максимального измеряемого значения амплитуды импульсов напряжения

#### А.4 Заключение по результатам поверки

| Метрологическая характеристика                                                                                                                                                         | Полученные значения | Требования методики поверки          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Максимальное измеряемое значение амплитуды импульсов напряжения, В<br>– при длительности входных импульсов не более 300 пс<br>– при длительности входных импульсов от 300 пс до 3,5 нс |                     | $1,0 \cdot 10^5$<br>$5,0 \cdot 10^4$ |
| Коэффициент деления, В/В                                                                                                                                                               |                     | от 111 до 131                        |
| Пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента деления, %                                                                                                                  |                     | $\pm 20$                             |
| Время нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды, пс, не более                                                            |                     | 60                                   |
| Длительность переходной характеристики по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды, нс, не менее                                                                               |                     | 3,5                                  |
| Пределы допускаемой относительной погрешности измерений временных интервалов, %                                                                                                        |                     | $\pm 20$                             |

Рекомендации \_\_\_\_\_

Средство измерений признать пригодным (или непригодным) для применения

Срок очередной поверки \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Поверитель:

\_\_\_\_\_

подпись

инициалы, фамилия

дата

Руководитель:

\_\_\_\_\_

подпись

инициалы, фамилия

дата