

## СОГЛАСОВАНО

Заместитель директора  
ФГБУ «ВНИОФИ»

— Е.А. Гаврилова

2024 г.



# «ГСИ. Преобразователи импульсного электрического напряжения измерительные ПИЭНИ-1,0/А10. Методика поверки»

МП 010.М12-24

## Главный метролог ФГБУ «ВНИИОФИ»

С.Н. Негода

«      » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Москва 2024

## **1 Общие положения**

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на преобразователи импульсного электрического напряжения измерительные ПИЭНИ-1,0/A10, зав.№ 01 и зав.№ 02 и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверок.

1.2 Преобразователи импульсного электрического напряжения измерительные ПИЭНИ-1,0/A10, зав.№01 и зав.№02 (далее – преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10) предназначены для преобразования (ослабления) импульсов электрического напряжения с наносекундной длительностью фронта в коаксиальных трактах.

Принцип действия преобразователей основан на преобразовании (ослаблении) импульсов электрического напряжения с помощью резистивных согласованных элементов, в которых происходит частичное поглощение входной мощности 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 148-2021 в соответствии с «Государственной поверочной схемы для средств измерений напряженностей импульсных электрического и магнитного полей и высокого импульсного электрического напряжения», утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.12.2021 г. № 3086 и ГЭТ 182-2010 в соответствии с «Государственной поверочной схемы для средств измерений импульсного электрического напряжения», утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 декабря 2019 г. № 3463.

1.4 Поверка преобразователей ПИЭНИ-1,0/A10 выполняется методом прямых измерений.

1.5 Преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10 обеспечивают следующие метрологические характеристики:

- максимальное измеряемое значение амплитуды импульсов электрического напряжения:  $1,0 \cdot 10^3$  В;
- коэффициент преобразования от  $0,9 \cdot 10^{-1}$  до  $1,1 \cdot 10^{-1}$  В/В;
- пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента преобразования:  $\pm 10\%$ ;
- время нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды не более 5,0 нс;
- пределы относительной погрешности измерений времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды  $\pm 15\%$ ;

## **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 проверки, в соответствии с которым выполняется операция проверки
		первой проверке	периодической проверке	
1	Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
2	Подготовка к проверке и опробование средств измерений	Да	Да	8
3	Определение метрологических характеристик средств 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 максимального измеряемого значения амплитуды импульсов электрического напряжения	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 максимального измеряемого значения амплитуды импульсов электрического напряжения	Да	Да	10.5

2.2 При получении отрицательных результатов при проведении любой операции

проверка прекращается.

2.3 Первая (периодическая) проверка, проводится на основании письменного заявления владельца средств измерений или лица, представившего их на проверку, оформленного в произвольной форме, с указанием заводских номеров представляемых изделий.

### **3 Требования к условиям проведения проверки**

3.1 При проведении проверки соблюдаются следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С 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 проверка, должно быть чистым и сухим, свободным от пыли.

### **4 Требования к специалистам, осуществляющим проверку**

4.1 К проведению проверки допускаются лица, изучившие настоящую методику проверки, руководство по эксплуатации (РЭ) на преобразователи, правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, указанных в приложении к приказу Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 № 903н, имеющие опыт работы с высокоточными средствами измерений в области измерений электрических величин и прошедшие обучение на право проведения проверки 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 проверки**

5.1 При проведении первичной и периодической проверок применяются средства проверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства проверки

Операции проверки, требующие применение средств проверки	Метрологические и технические требования к средствам проверки, необходимые для проведения проверки	Перечень рекомендуемых средств проверки
п.8 Подготовка к проверке и опробование средства измерений	Средства измерений температуры воздуха от 20 до 30 °С и пределами допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерений температуры $\pm 1$ °С.  Средства измерений относительной влажности до 70 % и пределами допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерений	Измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп», рег. № 32014-06

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	<p>относительной влажности <math>\pm 3\%</math>.</p> <p>Средства измерений давления воздуха от 94 до 107 кПа и пределами допускаемого значения основной абсолютной погрешности измерений давления <math>\pm 0,5</math> 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>Вольтметр универсальный В7-54/3, рег.№ 15250-12.</p> <p>Вольтметр универсальный В7-54М, рег. №50973-12</p>
п.8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	<p>Эталоны единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей не ниже уровня вторичного эталона единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей по государственной поверочной схеме, утвержденной Приказом Росстандарта от 01 августа 2023 г. № 1537 с характеристиками (для генератора ступенчатых импульсов напряжения):</p> <p>номинальные значения: амплитуда воспроизведимых импульсов напряжения от 1 до 15 В; длительность фронта воспроизведимых импульсов напряжения между уровнями от 0,1 до 0,9 от амплитуды: 10 пс; длительность воспроизведимых импульсов напряжения по уровню 0,5 от амплитуды: 25 нс; погрешность воспроизведения амплитуды импульсов напряжения от 4,0 до 9,0 %</p>	<p>Государственный вторичный эталон единиц напряженности импульсных электрического и магнитного полей в диапазонах от 0,2 до <math>1,0 \cdot 10^2</math> В/м и от <math>5,2 \cdot 10^{-4}</math> до <math>2,6 \cdot 10^{-1}</math> А/м 2.1.ZZA.0055.2015 (далее – ВЭ)</p>
	<p>Средства измерений (генераторы импульсов напряжения) с диапазоном установки амплитуды на 50-омной нагрузке от 0,1 до 5 В, погрешность установки амплитуды <math>\pm 3\%</math>, длительность фронта выходных импульсов от 1 до 10 нс, длительность выходных импульсов от 50 нс до 100 с</p>	<p>Генератор импульсов Г5-102, рег.№ 39224-08.</p> <p>Генератор импульсов точной амплитуды Г5-75, рег.№ 7767-12</p>

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	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 $\pm 3\%$	Осциллограф цифровой Tektronix TDS 784D, рег.№ 19296-00 Осциллограф цифровой Tektronix DPO71604C, рег.№ 48470-11
п.9 Определение метрологических характеристик средства измерений	Эталоны единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей не ниже уровня вторичного эталона единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей по государственной поверочной схеме, утвержденной Приказом Росстандарта от 01 августа 2023 г. № 1537 с характеристиками (для генератора ступенчатых импульсов напряжения): номинальные значения: 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 %	Государственный вторичный эталон единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей в диапазонах от $0,2$ до $1,0 \cdot 10^2$ В/м и от $5,2 \cdot 10^{-4}$ до $2,6 \cdot 10^{-1}$ А/м 2.1.ZZA.0055.2015
	Эталон единицы импульсного электрического напряжения не ниже уровня рабочего эталона 2-го разряда (осциллографический регистратор) по государственной поверочной схеме 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 $\pm 3\%$	Осциллограф цифровой Tektronix CSA8000B, рег.№ 40566-09. Осциллограф цифровой Tektronix TDS 784D, рег.№ 19296-00

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	<p>Средства измерений (генераторы импульсов напряжения) с диапазоном установки амплитуды на 50-омной нагрузке от 0,1 до 5 В, погрешность установки амплитуды <math>\pm 5\%</math>, длительность фронта выходных импульсов от 0,5 до 10 нс, длительность выходных импульсов от 50 нс до 100 с</p>	<p>Генератор импульсов Г5-102, рег.№ 39224-08.</p> <p>Генератор импульсов точной амплитуды Г5-75, рег.№ 7767-12</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 <math>\pm 3\%</math></p>	<p>Осциллограф цифровой Tektronix TDS 784D, рег.№ 19296-00</p> <p>Осциллограф цифровой Tektronix CSA8000B, рег.№ 40566-09.</p> <p>Осциллограф цифровой Tektronix DPO71604C, рег.№ 48470-11</p>
	<p>Испытательное оборудование по ГОСТ Р 8.568-2017 с характеристиками: диапазон воспроизводимых значений амплитуд импульсов высокого напряжения от 0,1 до 10 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; относительная погрешность воспроизведения амплитуды импульсов высокого напряжения не более <math>\pm 5,0\%</math></p>	<p>Испытательный стенд импульсов высокого напряжения ИСИВН-1 по ГОСТ Р 8.568-2017</p>

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 преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10 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 Российской Федерации 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 преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10.

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 преобразователей ПИЭНИ-1,0/A10.

Комплектность преобразователей ПИЭНИ-1,0/A10, зав.№ 01 и зав.№ 02 должна соответствовать таблице 3.

Таблица 3 – Комплектность средства измерений

Наименование	Обозначение	Количество
Преобразователь импульсного электрического напряжения измерительный в составе:	ПИЭНИ-1,0/A10	1 шт.
Ослабитель	Pearson attenuator model A10	1 шт.
Измерительный кабель	ИК	1 шт.
Руководство по эксплуатации	СНАБ.468165.012 РЭ	1 экз.
Формуляр	СНАБ.468165.012 ФО	1 экз.
Упаковка	–	1 шт.

7.2 Проверяют преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10 на отсутствие механических повреждений и ослаблений элементов конструкции.

7.3 Преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10 признаются прошедшими 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 В7-54М.

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

8.3 Подготовку, соединение, включение и прогрев преобразователей ПИЭНИ-1,0/A10 и средств поверки, регистрацию показаний и другие работы по поверке произведите в соответствии с эксплуатационной документацией на указанные средства.

8.4 При опробовании преобразователей ПИЭНИ-1,0/A10 оценивают их работоспособность с целью выявления внутренних скрытых дефектов, возникших при транспортировании или эксплуатации и препятствующих дальнейшей эксплуатации.

8.5 Подключают выход генератора импульсов напряжения TMG1010 из состава ВЭ с помощью 50-омного коаксиального кабеля ко входному соединителю BNC преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10 (см. рисунок 1). Соединяют выходной соединитель BNC преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10 с помощью измерительного кабеля ИК из состава преобразователя со входом цифрового осциллографа Tektronix. Устанавливают амплитуду выходных импульсов напряжения генератора  $U_{\text{ген.}} = 1,0$  В. Устанавливают входное сопротивление на осциллографе 50 Ом.

8.6 Воспроизводят импульсы напряжения на выходе генератора TMG1010 из состава ВЭ и обеспечивают с помощью осциллографа Tektronix регистрацию импульса напряжения на выходе преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10. По полученной осциллограмме (см. рисунок 2) при помощи маркеров осциллографа определяют среднее значение амплитуды  $V_{\text{ср.опр.}}$ , В, зарегистрированного импульса.

Примечание – Для воспроизведения импульсов напряжения могут использоваться также генераторы импульсов Г5-102 или Г5-75.

8.7 По формуле (1) вычисляют значение коэффициента преобразования  $K_{\text{пр.опр.}}$ , В/В, преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10 (нагрузка 50 Ом)

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

8.8 Преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10 признаются прошедшими операцию поверки с положительным результатом, если значение коэффициента преобразования  $K_{\text{пр.опр.}}$ , В/В, для каждого преобразователя составляет от  $0,9 \cdot 10^{-1}$  до  $1,1 \cdot 10^{-1}$  В/В (на нагрузке 50 Ом).

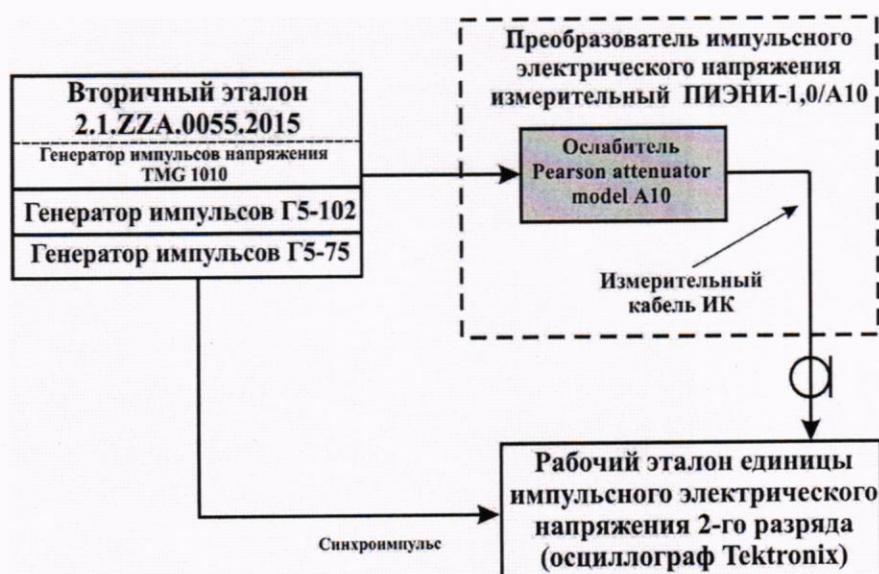


Рисунок 1 – Схема соединений при проведении опробования преобразователей и проверки его метрологических характеристик

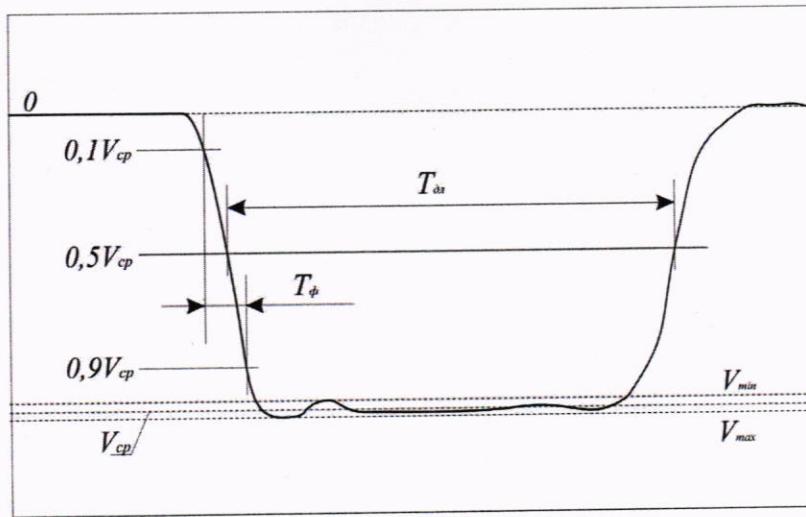


Рисунок 2 – Эпюра напряжения на выходе преобразователя при определении метрологических характеристик

## 9 Определение метрологических характеристик средства измерений

### 9.1 Определение коэффициента преобразования

9.1.1 Проводят работы по 8.5, воспроизводят импульсы напряжения на выходе используемого генератора ТМГ1010 (Г5-102, Г5-75) с амплитудой  $U_{\text{ген}}$ , В, порядка 1,0 В и обеспечивают с помощью осциллографа Tektronix регистрацию импульсов напряжения на выходе преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10 (см. рисунок 2).

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

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

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

9.1.4 Полученные результаты занести в протокол поверки, форма которого приведена в приложении А.

### 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 импульсы напряжения на выходе генератора ТМГ1010 из состава ВЭ 2.1.ZZA.0055.2015 и обеспечивают с помощью осциллографа Tektronix регистрацию импульса напряжения на выходе преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10. По полученной осциллограмме (см. рисунок 2) при помощи 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 преобразователя.

Примечание – Для воспроизведения импульсов напряжения может использоваться также генератор импульсов Г5-102.

9.2.2 Работы по 9.2.1 последовательно проводят десять раз и определяют для каждого измерения длительность фронта  $T_{\phi_i}$ , с,  $i=1\dots 10$  между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10.

9.2.3 Полученные результаты занести в протокол поверки, форма которого приведена в приложении А.

### 9.3 Определение максимального измеряемого значения амплитуды импульсов электрического напряжения

9.3.1 Подключают импульсный выход высоковольтного полупроводникового генератора ступенчатых импульсов PPG-2,5S из состава испытательного стенда импульсов высокого напряжения ИСИВН-1 с помощью высоковольтного соединительного кабеля в соответствии с рисунком 3 ко входному соединителю BNC преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10 (см. рисунок 3). Соединяют выходной соединитель BNC преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10 с помощью измерительного кабеля ИК из состава преобразователя со входом цифрового осциллографа Tektronix, при этом используют высоковольтные высокочастные ослабители сигналов из состава ИСИВН-1 с коэффициентом ослабления  $K_{oc.BB}$ , В/В порядка 100 В/В. Устанавливают амплитуду выходных импульсов напряжения генератора  $U_{gen.PPG-2,5S}$ , В, порядка 1,0 кВ, а длительность  $T_{gen.PPG-2,5S}$ , В, порядка 30 нс. Устанавливают входное сопротивление на осциллографе 50 Ом.

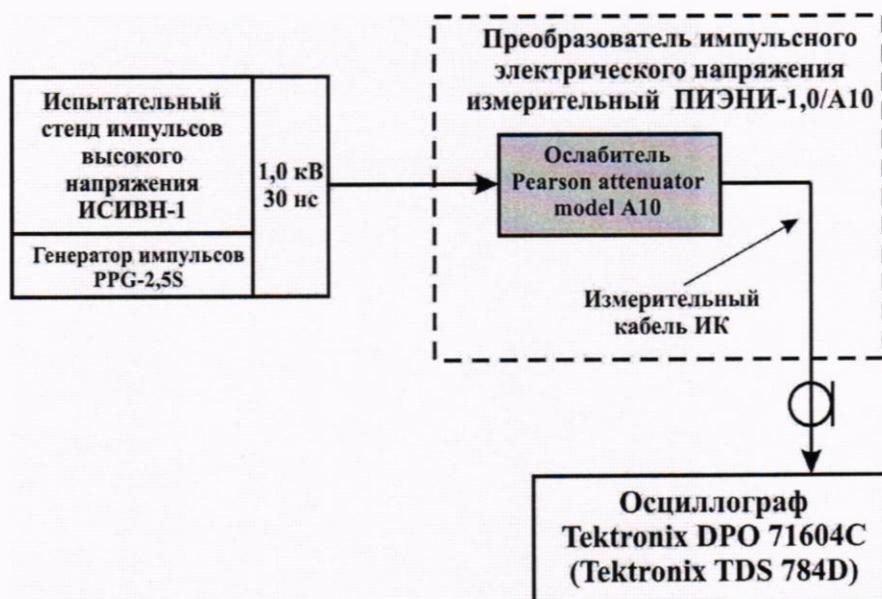


Рисунок 3 – Схема соединений при определении максимального измеряемого значения амплитуды импульсов электрического напряжения

9.3.2 Воспроизводят импульсы напряжения с генератора PPG-2,5S и обеспечивают регистрацию импульсов напряжения на выходе преобразователя (см. рисунок 2) с помощью осциллографа Tektronix.

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

- $V_{max.амп.1кВ}$  – соответствующую максимальному значению амплитуды, В;
- $V_{min.амп.1кВ}$  – соответствующую минимальному значению амплитуды, В.

9.3.4 Измерения по 9.3.2 – 9.3.3 производят последовательно  $n = 10$  раз.

9.3.5 Полученные результаты занести в протокол поверки, форма которого приведена в приложении А.

## 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

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

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

где  $V_{\max\_i}$  –  $i$ -е измерение напряжения  $V_{\max}$ , В;

$V_{\min\_i}$  –  $i$ -е измерение напряжения  $V_{\min}$ , В.

Погрешность, обусловленную неравномерностью вершины импульса на выходе преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10  $\Theta_{\text{нер.вер.}}$ , % (отклонение амплитуды импульса от среднего уровня), определяют по формуле

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

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

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

10.1.2 Преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10 признаются прошедшими операции поверки по 9.1, 10.1 с положительным результатом, если значение коэффициента преобразования составляет от  $0,9 \cdot 10^{-1}$  до  $1,1 \cdot 10^{-1}$  В/В (на нагрузке 50 Ом).

### 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 преобразователя на нагрузке 50 Ом и получают оценку СКО коэффициента преобразования  $S(K_{\text{пр.}})$ , %, по формулам

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

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

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

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

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

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

$$\Theta_{K_{\text{пр}}} = 1,1 \cdot (\Theta_{V_{\text{ゼн}}}^2 + \Theta_{V_{\text{max}}}^2 + \Theta_{V_{\text{min}}}^2 + \Theta_{\text{неп.вер}}^2)^{1/2}, \quad (10)$$

где  $\Theta_{V_{\text{ゼн}}}$  – относительная погрешность установки амплитуды импульсов напряжения на выходе используемого генератора ступенчатых импульсов напряжения ТМГ1010 (Г5-102, Г5-75 в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{V_{\text{max}}}$  – относительная погрешность используемого осциллографа Tektronix при определении максимальной амплитуды  $V_{\text{max}}$ , В, импульсов напряжения на выходе преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10 (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{V_{\text{min}}}$  – относительная погрешность используемого осциллографа Tektronix при определении минимальной амплитуды  $V_{\text{min}}$ , В, импульсов напряжения на выходе преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10 (в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

$\Theta_{\text{неп.вер}}$  – погрешность, обусловленная неравномерностью вершины импульса на выходе преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10 (отклонение амплитуды импульса от среднего уровня), рассчитанная в соответствии с формулой (4), %.

10.2.3 Доверительные границы  $\delta_{K_{\text{пр}}}$ , %, относительной погрешности коэффициента преобразования преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10 вычисляют по полученным значениям случайной и неисключенной систематической погрешности в соответствии с ГОСТ 8.736-2011 по формуле

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

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

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

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

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

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

Коэффициент  $K$  вычисляют по формуле

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

10.2.4 Преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10 признаются прошедшими операции поверки по 9.1, 10.2 с положительным результатом, если относительная погрешность коэффициента преобразования не превышает установленных пределов  $\pm 10\%$ .

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

10.3.1 Используя измеренные значения по 9.2, время нарастания переходной характеристики  $T_{n.PX,i}$ , с,  $i=1\dots 10$ , преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10 между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды, вычисляют по формуле

$$T_{n.PX,i} = \sqrt{T_{\phi,i}^2 - T_{\text{фр.ген}}^2 - T_{n.PX.osu}^2}, \quad (15)$$

где  $T_{\phi,i}$  – зарегистрированное значение длительности фронта импульсов между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10,  $i=1\dots 10$ , с;

$T_{\text{фр.ген}}$  – длительность фронта воспроизведимых импульсов напряжения между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе используемого генератора ступенчатых импульсов напряжения TMG1010 (Г5-102, в соответствии с технической документацией на средство измерений), с;

$T_{n.PX.osu}$  – 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 по формуле

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

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

$n$  – количество измерений.

10.3.3 Преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10 признаются прошедшими операции поверки по 9.2, 10.3 с положительным результатом, если время нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды не превышает 5,0 нс.

### 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 преобразователей между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды при доверительной вероятности  $P = 0,95$  (без учета знака) определяют по формуле

$$\Theta_{n.PX} = 1,1 \sqrt{\Theta_{\text{фр.ген}}^2 + \Theta_{\text{осц.В.вн}}^2 + \Theta_{\text{осц.Т.вн}}^2}, \quad (17)$$

где  $\Theta_{\text{фр.ген}}$  – относительная погрешность воспроизведения длительности фронта импульсов между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды на выходе используемого генератора ступенчатых импульсов напряжения ТМГ1010 (Г5-102, в соответствии с технической документацией на средство измерений), %;

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

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

10.4.2 Преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10 признаются прошедшими операции поверки по 9.2, 10.4 с положительным результатом, если относительная погрешность измерений времени нарастания переходной характеристики между уровнями от 0,1 до 0,9 от установившегося значения амплитуды не превышает установленных пределов  $\pm 15\%$ .

## 10.5 Расчет максимального измеряемого значения амплитуды импульсов электрического напряжения

10.5.1 Используя измеренные по 9.3 значения  $V_{\text{max.амп.1кВ}}$ , В, и  $V_{\text{min.амп.1кВ}}$ , В, аналогично по формулам (2) и (3) вычисляют средние арифметические значения  $\bar{V}_{\text{max.амп.1кВ}}$ , В, и  $\bar{V}_{\text{min.амп.1кВ}}$ , В.

10.5.2 Значение коэффициента преобразования  $K_{\text{пр.1кВ}}$ , В/В, преобразователя ПИЭНИ-1,0/A10 при амплитуде входных импульсов напряжения  $U_{\text{ген.PPG-2,5S}} = 1,0$  кВ и длительности 30 нс определяют по формуле

$$K_{\text{пр.1кВ}} = [(\bar{V}_{\text{max.амп.1кВ}} + \bar{V}_{\text{min.амп.1кВ}}) \cdot K_{\text{ос.ВВ}}] / 2 \cdot U_{\text{ген.PPG-2,5S}}, \quad (18)$$

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

10.5.3 Рассчитывают относительную погрешность  $\Theta_{\text{Кпр.отк.1кВ}}$ , %, отклонения значения коэффициента преобразования  $K_{\text{пр.1кВ}}$ , В/В, от значения  $K_{\text{пр}}$ , В/В, (без учета знака) по формуле

$$\Theta_{\text{Кпр.отк.1кВ}} = (1 - (K_{\text{пр.1кВ}} / K_{\text{пр}})) \cdot 100 \%. \quad (19)$$

10.5.4 Преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10 признаются прошедшими операции поверки по 9.3, 10.5 с положительным результатом и максимальное измеряемое значение амплитуды импульсов электрического напряжения принимается равным 1 кВ (при максимальной допустимой длительности импульсов электрического напряжения по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды: 30 нс), если относительная погрешность  $\Theta_{\text{Кпр.отк.1кВ}}$ , %, отклонения значения коэффициента преобразования  $K_{\text{пр.1кВ}}$ , В/В, от значения  $K_{\text{пр}}$ , В/В, не

превышает, рассчитанных по 4.9.3 доверительных границ  $\delta_{Knp}$ , %, относительной погрешности коэффициента преобразования преобразователей и в процессе нагружения импульсами высокого напряжения не наблюдалось наличия электрических пробоев по высоковольтным частям преобразователей 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 Преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10 считаются прошедшими поверку с положительным результатом и допускаются к применению, если все операции поверки пройдены с положительным результатом, а также соблюдены требования по защите средства измерений от несанкционированного вмешательства. В ином случае преобразователи ПИЭНИ-1,0/A10 считаются прошедшими поверку с отрицательным результатом и не допускаются 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)

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

(наименование, тип СИ и модификация в соответствии с описанием типа, в единственном числе, регистрационный номер)

Заводской номер:

Год выпуска: \_\_\_\_\_

Изготовитель:

\_\_\_\_\_

Владелец СИ:

\_\_\_\_\_

Применяемые средства поверки:

\_\_\_\_\_

Применяемая методика поверки:

ГСИ. Преобразователи импульсного электрического

напряжения измерительные ПИЭНИ-1,0/А10.

Методика поверки» МП 010.М12-24.

Условия поверки:

- температура окружающего воздуха
- относительная влажность воздуха
- атмосферное давление
- напряжение питания сети
- частота сети

\_\_\_\_\_ °С;

\_\_\_\_\_ %;

\_\_\_\_\_ кПа;

\_\_\_\_\_ В;

\_\_\_\_\_ Гц.

Место проведения поверки:

Проведение поверки

1 Внешний осмотр

Соответствует/не соответствует п. ХХ методики поверки (при несоответствии перечисляют все несоответствия).

2 Опробование

Соответствует/не соответствует п. ХХ методики поверки (при несоответствии перечисляют все несоответствия).

3 Идентификация программного обеспечения (*при наличии*)

Указывается идентификационный номер.

4 Определение метрологических характеристик

Описывают все процедуры определения метрологических характеристик, измеренные величины, расчет погрешности.

5 Заключение по результатам поверки

По результатам поверки средство измерений соответствует/не соответствует метрологическим характеристикам, указанным в описании типа средства измерений, и признается пригодным/не пригодным к применению.

Средство измерений соответствует уровню N-го разряда по ГПС \_\_\_\_\_, утвержденной приказом Росстандарта (ГОСТ \_\_\_\_\_) от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_.

Поверитель:

\_\_\_\_\_

подпись

Дата поверки: \_\_\_\_\_

Фамилия И.О.

Руководитель

подразделения:

\_\_\_\_\_

подпись

Фамилия И.О.