



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ПРИКЛАДНОЙ МЕТРОЛОГИИ – РОСТЕСТ»
(ФБУ «НИЦ ПМ – РОСТЕСТ»)

СОГЛАСОВАНО

Заместитель генерального директора



А. Д. Меньшиков

«29» августа 2025 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ Е4412А

Методика поверки

РТ-МП-1352-441-2025

г. Москва
2025 г.

1 Общие положения

Настоящая методика поверки применяется для поверки преобразователей измерительных Е4412А (далее – преобразователей), используемых в качестве рабочих средств измерений, и устанавливает порядок проведения первичной и периодических поверок.

При определении метрологических характеристик в рамках проводимой поверки обеспечивается передача единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах в диапазоне частот от 0,01 до 18 ГГц в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. № 3461, подтверждающей прослеживаемость к государственному первичному эталону ГЭТ26-2010.

Для определения метрологических характеристик используются методы прямых измерений и непосредственного сличения.

В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Подтверждаемые метрологические требования

Наименование характеристики	Значение
Диапазон рабочих частот, ГГц	от 0,01 до 18
Диапазон значений измеряемой мощности, дБ относительно 1 мВт	от -70 до +20
КСВН входа, не более:	
от 10 до 30 МГц включ.	1,22
св. 30 МГц до 2 ГГц включ.	1,15
св. 2 до 6 ГГц включ.	1,17
св. 6 до 11 ГГц включ.	1,20
св. 11 до 18 ГГц	1,27
Границы нелинейности амплитудной характеристики, %:	
от минус 70 до плюс 10 дБ относительно 1 мВт включ.	±3,0
св. плюс 10 до плюс 20 дБ относительно 1 мВт	±4,5
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений на опорном уровне мощности 1 мВт, %, в диапазоне частот:	
от 10 до 30 МГц включ.	±1,8
св. 30 МГц до 1,2 ГГц включ.	±2,0
св. 1,2 до 6 ГГц не включ.	±2,5
от 6 до 18 ГГц	±3,0

2 Перечень операций поверки средства измерений

2.1 При проведении поверки выполняют операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

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	2	3	4
Внешний осмотр	Да	Да	7
Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Да	Да	8.1

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Опробование (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Да	Да	8.2
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям			9
Определение коэффициента стоячей волны по напряжению и диапазона рабочих частот	Да	Да	9.1
Определение диапазона и относительной погрешности измерений мощности на опорном уровне 1 мВт, границ нелинейности амплитудной характеристики	Да	Да	9.2

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться условия, установленные в ГОСТ 8.395-80 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования» и в технической документации на преобразователь и средства поверки.

- температура окружающей среды, °С.....от 18 до 28
- относительная влажность воздуха, %.....от 30 до 80

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К проведению поверки допускают специалистов, имеющих необходимую квалификацию, изучивших настоящую методику поверки и эксплуатационную документацию на преобразователь и используемые средства поверки.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении поверки применяют средства поверки (эталонные, средства измерений и вспомогательные технические средства), указанные в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
8.1 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от 18 °С до плюс 28 °С с абсолютной погрешностью не более 1 °С; Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне измерений от 30 % до 80 % с погрешностью не более 5 %	Термогигрометр UNITESS THB 1, рег. № 70481-18
9.1 Определение коэффициента стоячей волны по напряжению и диапазона рабочих частот	Средства измерений модуля коэффициента отражения (КО) в диапазоне частот от 10 МГц до 18 ГГц, диапазон измерений модуля КО от 0 до 1, погрешность измерений не более 5 %	Анализатор электрических цепей векторные ZVA50, рег. № 48335-11
9.2 Определение диапазона и относительной погрешности измерений мощности на опорном уровне 1 мВт, границ нелинейности амплитудной характеристики	Эталоны единицы мощности электромагнитных колебаний и средства измерений, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 1 разряда в диапазоне частот от 0,03 до 18 ГГц, не ниже 3 разряда в диапазоне частот от 10 МГц до 30 МГц в соответствии с ГПС, утвержденной приказом Росстандарта от 30.12.2019 № 3461	Калибратор мощности СВЧ NRPC18, рег. № 54535-13
	Средства воспроизведения синусоидального сигнала в диапазоне частот от 0,01 до 18 ГГц, уровнем выходной мощности от плюс 26 до минус 10 дБ (1 мВт)	Генератор сигналов SMA100B, рег. № 68980-20
	Эталоны единицы ослабления электромагнитных колебаний, соответствующие требованиям к рабочим эталонам 1 разряда в соответствии с ГПС, утвержденной приказом Росстандарта от 30.12.2019 № 3383 для воспроизведения ослабления от 0 до 70 дБ на частоте 50 МГц	Аттенюатор ступенчатый R&S RSC с модулем 03, рег. № 48368-11
Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице		

Таблица 4 – Вспомогательное оборудование

Номер пункта документа по поверке	Наименование вспомогательного оборудования	Требуемые технические характеристики вспомогательного оборудования	Рекомендуемое вспомогательное оборудование
8.2, 9.1, 9.2	Блок измерительный ваттметров	Диапазон измерений мощности от минус 70 до плюс 20 дБ (1 мВт) с относительной погрешностью $\pm 0,8$ %	Блок измерительный ваттметров E4417A

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 При проведении поверки необходимо соблюдать:

- общие правила техники безопасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.003 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности»;
- «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок», утвержденные Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 г. № 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»;
- указания по технике безопасности, указанные в соответствующих эксплуатационных документах применяемых эталонов и средств измерений;
- указания по технике безопасности, действующие на месте проведения работ.

7 Внешний осмотр средства измерений

7.1 При проведении внешнего осмотра установить соответствие преобразователей следующим требованиям:

- внешний вид должен соответствовать фотографиям, приведенным в описании типа;
- тип коаксиального соединителя входа должен иметь тип – N «вилка»
- наружная поверхность не должна иметь следов механических повреждений, которые могут влиять на работу преобразователя;
- разъемы должны быть чистыми, без механических повреждений (вмятин, забоин, отслаивания покрытия) и заусениц на контактных и токонесущих поверхностях.

7.2 Результат проверки считается положительным, если выполняются требования пункта 7.1.

В случае выявления несоответствий по пункту 7.1 результаты внешнего осмотра считать отрицательными, дальнейшие операции поверки не производить.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Контроль условий поверки

Выполнить контроль условий окружающей среды.

Результаты измерений температуры и относительной влажности в помещении должны находиться в пределах, указанных в разделе 3. В случае выявления несоответствий поверка приостанавливается до выполнения условий, указанных в разделе 3.

8.2 Опробование

Перед проведением операций поверки необходимо выполнить подготовительные работы, установленные в руководствах по эксплуатации на преобразователь и применяемые средства поверки.

Опробование преобразователя выполнить в следующей последовательности:

- разместить преобразователь на рабочем месте, обеспечив удобство работы и условия естественной вентиляции;
- подключить преобразователь к измерительному каналу А блока измерительного ваттметров Е4417А (далее – блока);
- провести установку нуля преобразователя;
- подключить преобразователь к выходу «Power Ref output» блока;
- провести калибровку преобразователя, для этого последовательно нажать клавиши «Zero/Cal» и «Cal» блока;
- снять показания блока.

Преобразователь считается работоспособным, если при подключении преобразователя

отсутствуют сообщения о неисправности, установка нуля, калибровка и установка режимов работы преобразователя проведены успешно (отсутствуют сообщения о неисправности) и показания блока не более 50 пВт.

В противном случае результаты опробования считать отрицательными и последующие операции поверки не проводить.

9 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

9.1 Определение коэффициента стоячей волны по напряжению и диапазона рабочих частот

Определение диапазона рабочих частот проводить одновременно с определением коэффициента стоячей волны по напряжению (далее – КСВН) входа преобразователя.

Определение КСВН входа преобразователя проводят методом прямых измерений с помощью векторного анализатора цепей ZVA50 (далее – анализатор).

Провести калибровку анализатора в диапазоне частот, соответствующему диапазону преобразователя, в соответствующем СВЧ тракте.

Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 1.

Произвести измерения модуля и фазы коэффициента отражения (далее – КО), а также КСВН входа на частотах, указанных в таблице 5.

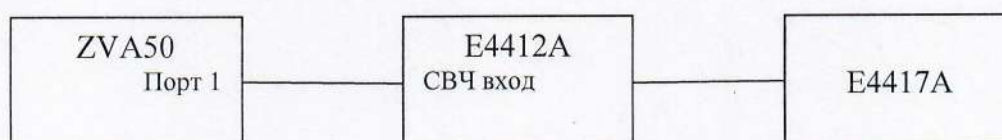


Рисунок 1 – Структурная схема определения КСВН входа

Таблица 5 – Частоты измерений и допустимые значения КСВН входа

Диапазон частот	Частота измерения, ГГц	Предел КСВН, не более
от 10 до 30 МГц включ.	0,01; 0,015; 0,02; 0,025	1,22
св. 30 МГц до 2 ГГц включ.	0,05; 0,10; 0,25; 0,5; 1; 1,5	1,15
св.2 до 6 ГГц включ.	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5	1,17
св.6 до 11 ГГц включ.	6; 6,5; 7; 8; 9; 10	1,20
св.11 до 18 ГГц	11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18	1,27

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если значения КСВН не превышают значений, указанных в таблице 5.

9.2 Определение диапазона и относительной погрешности измерений мощности на опорном уровне 1 мВт, границ нелинейности амплитудной характеристики

9.2.1 Определение диапазона и относительной погрешности измерений мощности преобразователя проводить непосредственным сличением при помощи калибратора мощности СВЧ NRPC18 (далее – калибратора) и генератора сигналов SMA100B (далее – генератора).

Подготовить генератор и калибратор в соответствии с руководствами по эксплуатации (далее – РЭ) на них.

Подключить преобразователь к блоку.

Провести установку нуля и калибровку преобразователя согласно РЭ блока.

Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 2.

Установить на блоке частоту измеряемого сигнала 10 МГц согласно РЭ блока.

Установить на генераторе частоту 10 МГц, выходной уровень мощности 6 дБ (1 мВт).

Ввести на блоке и калибраторе значение частоты 10 МГц и единицы величины «мВт».

Подстроить уровень выходной мощности на генераторе, чтобы показания калибратора установились в пределах $(1 \pm 0,02)$ мВт.

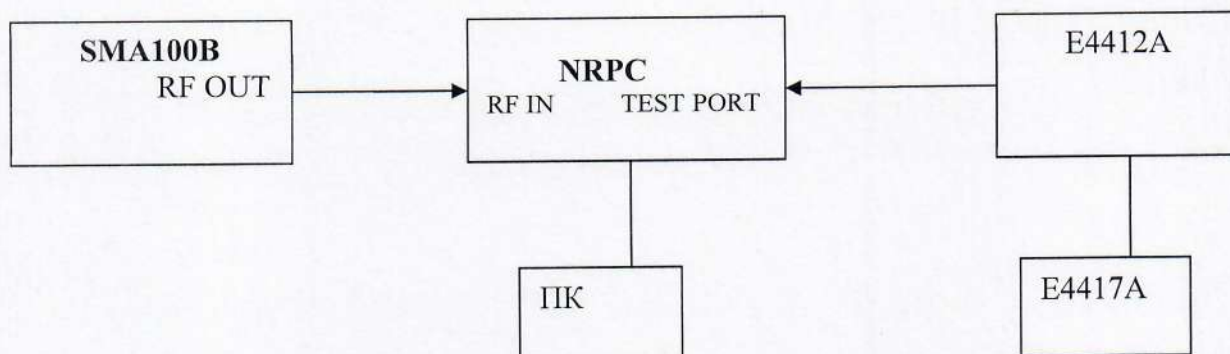


Рисунок 2 – Структурная схема определения относительной погрешности измерений мощности на опорном уровне 1 мВт

Включить на калибраторе режим Г-коррекции и ввести измеренные в соответствии с пунктом 9.1 значения модуля и фазы КО на данной частоте.

Зафиксировать показания преобразователя $P_{изм}$, мВт, и калибратора $P_{эт}$, мВт.

Рассчитать относительную погрешность измерений мощности на опорном уровне 1 мВт δP , %, по формуле

$$\delta P = ((P_{изм} - P_{эт}) / P_{эт}) \cdot 100. \quad (1)$$

Повторить измерения, поочередно устанавливая на генераторе, калибраторе и преобразователе значения частот из таблицы 5.

9.2.2 Дополнительно провести измерения для уровня мощности плюс 20 дБ (1 мВт) на частоте 50 МГц. Вычисленное значение погрешности занести в таблицу 6.

9.2.3 Измерение мощности для уровня минус 70 дБ (1 мВт)

Подключить преобразователь к блоку.

Провести установку нуля и калибровку преобразователя согласно РЭ блока.

Собрать схему, представленную на рисунке 3.

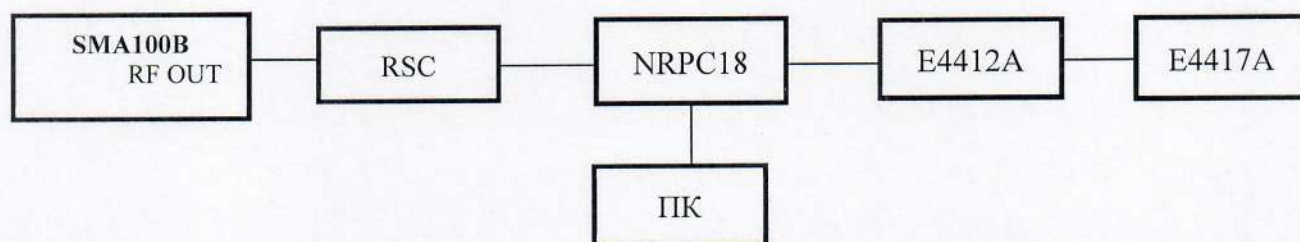


Рисунок 3 – Структурная схема соединения СИ для определения относительной погрешности измерений мощности для уровней мощности минус 70 дБ (1 мВт)

Установить частоту сигнала генератора 50 МГц.

Установить ослабление аттенюатора ступенчатого R&S RSC (далее – аттенюатора) 0 дБ.

Органами управления генератора установить мощность сигнала 1 мВт по калибратору.

Установить ослабление аттенюатора 70 дБ. Зафиксировать измеренное преобразователем значение мощности $P_{изм}$, мВт.

Рассчитать относительную погрешность нелинейности амплитудной характеристики δ , %, по формуле

$$\delta = \frac{P_{\text{изм}} - (S \cdot 10^{0,1 \cdot A_{70}})}{S \cdot 10^{0,1 \cdot A_{70}}} \cdot 100, \quad (2)$$

где S равно 1 мВт;
 $P_{\text{изм}}$ – результат измерений мощности преобразователем, мВт;
 A_{70} – действительное значение ослабления аттенюатора, дБ.

Таблица 6 – Результаты определения погрешности

Частота, ГГц	Измеряемая мощность	δP , %	$\delta P_{\text{доп}}$, %
0,010	0 дБ (1 мВт)		$\pm 1,8$
0,015	0 дБ (1 мВт)		$\pm 1,8$
0,020	0 дБ (1 мВт)		$\pm 1,8$
0,025	0 дБ (1 мВт)		$\pm 1,8$
0,03	0 дБ (1 мВт)		$\pm 1,8$
0,05	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,0$
0,10	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,0$
0,25	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,0$
0,5	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,0$
1	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,0$
1,5	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,5$
2	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,5$
2,5	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,5$
3	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,5$
3,5	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,5$
4	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,5$
4,5	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,5$
5	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,5$
5,5	0 дБ (1 мВт)		$\pm 2,5$
6	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
6,5	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
7	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
8	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
9	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
10	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
11	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
12	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
13	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
14	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
15	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
16	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
17	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
18	0 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$
0,05	+20 дБ (1 мВт)		$\pm 4,5$
0,05	-70 дБ (1 мВт)		$\pm 3,0$

9.2.4 Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если рассчитанные по формулам (1) и (2) значения погрешностей не превышают пределы $\delta P_{\text{доп}}$, %, указанные в таблице 6.

9.3 При положительных результатах поверки соответствие метрологическим требованиям, установленным при утверждении типа поверяемых преобразователей, подтверждено.

9.4 При отрицательных результатах поверки соответствие метрологическим требованиям, установленным при утверждении типа поверяемых преобразователей, не подтверждено, и поверяемые преобразователи признаются непригодными к применению.

10 Оформление результатов поверки

10.1 Результаты проверки внешнего осмотра, опробования, условий поверки и окончательные результаты измерений (расчетов), полученные в процессе поверки, заносят в протокол поверки произвольной формы.

10.2 Сведения о результатах и объеме проведенной поверки средства измерений в целях ее подтверждения передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с Порядком создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений. При оформлении свидетельства о поверке знак поверки наносится на свидетельство о поверке.

10.3 При положительных результатах поверки по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке средства измерений, при отрицательных результатах поверки выдается извещение о непригодности к применению средства измерений. Свидетельство о поверке или извещение о непригодности к применению средства измерений должны быть оформлены в соответствии с требованиями действующих правовых нормативных документов.

Начальник лаборатории № 441
ФБУ «НИЦ ПМ – Ростест»



С. Н. Голышак

Инженер по метрологии II категории
лаборатории № 441 ФБУ «НИЦ ПМ – Ростест»



С. С. Кучеренко