

СОГЛАСОВАНО
Главный метролог
АО «ПриСТ»

А.Н. Новиков



«29» октября 2024 г.

**«ГСИ. АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ ВЕКТОРНЫЕ АКИП-6608
МЕТОДИКА ПОВЕРКИ»**

МП-ПР-34-2024

Москва
2024

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая методика распространяется на анализаторы цепей векторные АКИП-6608 (далее анализаторы) и устанавливает методы и средства их поверки.

Прослеживаемость при поверке анализаторов обеспечивается в соответствии со следующими государственными поверочными схемами:

- государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 30.12.2019 г. № 3461, к Государственному первичному эталону единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах диапазоне частот от 0,03 до 37,50 ГГц – ГЭТ 26-2010;

- государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 16.08.2023 № 1678, к Государственному первичному эталону единицы волнового сопротивления – ГЭТ 75-2023;

- государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 г. № 2360, к Государственному первичному эталону единиц времени, частоты и национальной шкалы времени – ГЭТ 1-2022.

В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в Приложении А.

Для обеспечения реализации методики поверки при определении метрологических характеристик по п. п. 10.1 – 10.7 применяется метод прямых измерений.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Таблица 1 – Перечень операций поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
1. Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
2. Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8
3. Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	9
4 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям			10
5. Определение относительной погрешности установки частоты источника выходного сигнала	Да	Да	10.1
6 Определение диапазона установки уровня выходной мощности встроенного генератора и абсолютной погрешности установки уровня мощности генератора и нелинейности амплитудной характеристики генератора	Да	Да	10.2
7. Определение абсолютной погрешности измерения уровня входной мощности и нелинейности приемного тракта	Да	Да	10.3
8. Определение среднеквадратического отклонения значения шумов измерительного тракта	Да	Да	10.4
9. Определение среднего значения уровня собственного шума приёмников	Да	Да	10.5
10. Определение динамического диапазона при полосе пропускания 10 Гц	Да	Да	10.6

Продолжение таблицы 1

11. Определение абсолютной погрешности измерения модуля и фазы коэффициентов отражения и передачи	Да	Да	10.7
12. Определение абсолютной погрешности измерения уровня мощности входного сигнала в режиме анализатора спектра (при установленной опции SA)	Да	Да	10.8
13. Оформление результатов поверки	Да	Да	11

3. ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха от плюс 20 °C до плюс 26 °C;
- относительная влажность от 20% до 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106 кПа;
- напряжение питающей сети от 200 до 240 В;
- частота питающей сети от 47 до 63 Гц

4. ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1. К проведению поверки анализаторов цепей векторных АКИП-6606 допускаются специалисты, имеющие необходимую квалификацию, освоившие работу с анализаторами цепей векторными и применяемыми средствами поверки, изучившие настоящую методику поверки.

4.2 Поверитель должен пройти инструктаж по технике безопасности и иметь действующее удостоверение на право работы в электроустановках с напряжением до 1000 В с квалификационной группой по электробезопасности не ниже III

5. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

Таблица 2 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
1	2	3
п. 8.1	Средства измерений температуры окружающей среды от +10 до +30 °C с абсолютной погрешностью не более ±1 °C; Средства измерений относительной влажности окружающего воздуха от 30 до 80 % с абсолютной погрешностью не более ±3 %	Термогигрометр Fluke 1620A (рег. № 36331-07)
	Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 86 до 106,7 кПа с абсолютной погрешностью не более ±5 гПа	Измеритель давления Testo 511 (рег. № 53431-13)
	Средства измерений переменного напряжения в диапазоне от 50 до 480 В. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений переменного напряжения не более 2 %. Средства измерений частоты от 45 до 60 Гц. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений частоты не более 1 %.	Прибор измерительный универсальный параметров электрической сети DMG 800 (рег. № 49072-12)

Продолжение таблицы 2

1	2	3
10.1 – 10.8	Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения частоты $\pm 5 \cdot 10^{-11}$.	Стандарт частоты рубидиевый FS 725 (рег. № 31222-06)
10.1	Эталоны единицы измерений времени и частоты, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 4 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений времени и частоты, утвержденной приказом Росстандарта № 2360 от 26.09.2022, в диапазоне значений частоты от 10 Гц до 1 ГГц.	Частотомер универсальный СНТ-90 (рег. № 41567-09)
10.2, 10.3, 10.8	Эталоны единицы мощности электромагнитных колебаний, соответствующие требованиям к рабочим эталонам не ниже 3 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений мощности электромагнитных колебаний, утвержденной приказом Росстандарта № 3461 от 30.12.2019, в диапазоне частот от 8 кГц до 26,5 ГГц.	Ваттметр поглощаемой мощности СВЧ НРР33Т (рег. № 69958-17)
10.3 – 10.7	Эталоны, соответствующие требованиям к рабочим эталонам по государственной поверочной схеме для средств измерений волнового сопротивления, комплексных коэффициентов отражения и передачи в коаксиальных волноводах в диапазоне частот от 0 до 67 ГГц, утвержденной приказом Росстандарта № 1678 от 16.08.2023 в диапазоне частот от 30 кГц до 26,5 ГГц	Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85053В (рег. № 53567-13) Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85052D (рег. № 53567-13)
10.3, 10.8	Диапазон частот выходного сигнала от 250 кГц до 67 ГГц; пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты $\pm 7,5 \cdot 10^{-8}$. Вспомогательное оборудование: делитель мощности 11667А. Диапазон частот от 0 до 18 ГГц, максимальная мощность 0,5 Вт.	Генератор сигналов Е8257Д (рег. № 53941-13)
Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.		

6. ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.27.0-75, ГОСТ 12.3.019-80, ГОСТ 12.27.7-75, требования правил по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденных приказом Минтруда России от 15 декабря 2020 года N 903н.

6.2 Средства поверки, вспомогательные средства поверки и оборудование должны соответствовать требованиям безопасности, изложенным в руководствах по их эксплуатации.

7. ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Перед поверкой должен быть проведен внешний осмотр, при котором должно быть установлено соответствие поверяемого прибора следующим требованиям:

- не должно быть механических повреждений корпуса. Все надписи должны быть четкими и ясными;
- все разъемы, клеммы и измерительные провода не должны иметь повреждений и должны быть чистыми.

7.2 При наличии дефектов поверяемый прибор бракуется и подлежит ремонту.

8. ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- средства поверки и поверяемый прибор должны быть подготовлены к работе согласно руководствам по эксплуатации;
- контроль условий по обеспечению безопасности проведения поверки (раздел 5) должен быть выполнен перед началом поверки.
- контроль условий проведения поверки (раздел 3) должен быть выполнен перед началом поверки.

8.2 Опробование анализатора цепей проводят путем проверки функционирования в соответствии с руководством по эксплуатации.

При отрицательном результате опробования прибор бракуется и направляется в ремонт.

8.3 Для улучшения повторяемости измерений рекомендуется проводить подключение устройств с коаксиальными соединителями в указанной последовательности:

- аккуратно соединить соединители устройств;
- удерживая подключаемое устройство, накрутить гайку соединителя «вилка» таким образом, чтобы центральный проводник соединителя «вилка» вошел в центральный проводник соединителя «розетка»;
- окончательное затягивание гайки соединителя «вилка» проводить с помощью ключа тарированного, при этом следует использовать гаечный поддерживающий ключ для предотвращения поворота корпуса подключаемого устройства.

Отключение соединителей проводить в обратной последовательности.

9. ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Проверка программного обеспечения анализаторов осуществляется путем вывода на дисплей прибора информации о версии программного обеспечения. Войти в меню «System» анализатора, нажать последовательно кнопки «Help» и «About». Результат проверки считается положительным, если версия программного обеспечения в строке «Software Version» не ниже V1.0.0.1.01.R1.

10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

Допускается проведение периодической поверки отдельных измерительных каналов и отдельных опций анализаторов с обязательным указанием в сведениях о поверке информации об объеме проведенной поверки.

10.1 Определение относительной погрешности установки частоты источника выходного сигнала.

Определение относительной погрешности установки частоты источника выходного сигнала. проводить методом прямых измерений с помощью частотомера универсального СНТ-90, работающего от внешней опорной частоты 10 МГц со стандарта частоты рубидиевого FS725.

10.1.1 Выполнить соединение средств измерений в соответствии со схемой, приведённой на рисунке 1. На анализаторе, выполнить следующие настройки, в соответствии с руководством по эксплуатации:

- PRESET;
- MEAS: S11;
- FORMAT: Log Mag
- режим измерения: S11;
- POWER → RF Power: ON;
- POWER → Power Level: -10 dBm
- уровень выходной мощности: -10;
- FREQ → Center: 10 МГц

- FREQ → Span: 0 Гц;
- SWEEP → Number of Points: 100.

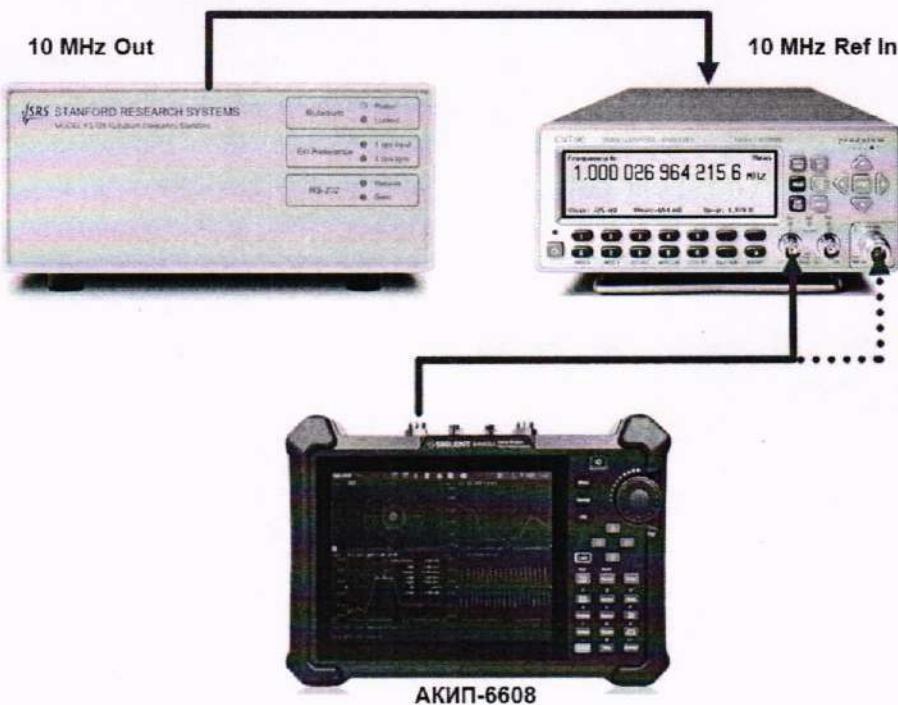


Рисунок 1 – Схема соединения приборов для определения относительной погрешности установки частоты источника выходного сигнала

10.1.2 Измерить частоту на выходе порта 1 анализатора цепей, зафиксировать результаты измерений частотометром $F_{изм}$.

Относительную погрешность определять по формуле (1):

$$\delta f = \frac{F_{ном} - F_{изм}}{F_{изм}}, \quad (1)$$

где $F_{ном}$ – установленное значение частоты, Гц;

$F_{изм}$ – измеренное значение частоты, Гц.

10.1.3 Повторить измерения по п. п. 10.1.1 и 10.1.2 для частот 100 МГц, 1 ГГц, устанавливая соответствующее значение центральной частоты.

Результаты операции поверки считать положительными, если относительная погрешность установки частоты источника выходного сигнала не превышает $\pm 5 \cdot 10^{-6}$.

10.2 Определение диапазона установки уровня выходной мощности встроенного генератора и абсолютной погрешности установки уровня мощности генератора

10.2.1 Определение максимального уровня выходной мощности генератора частот анализатора цепей (далее генератора) и абсолютной погрешности установки максимального уровня мощности генератора проводить методом прямых измерений с помощью ваттметра поглощаемой мощности NRP33T.

10.2.2 Для определения диапазона установки максимального уровня выходной мощности генератора и абсолютной погрешности установки максимального уровня мощности генератора подключить ваттметр NRP33T к измерительному порту 1 анализатора цепей, в соответствии с рисунком 2.

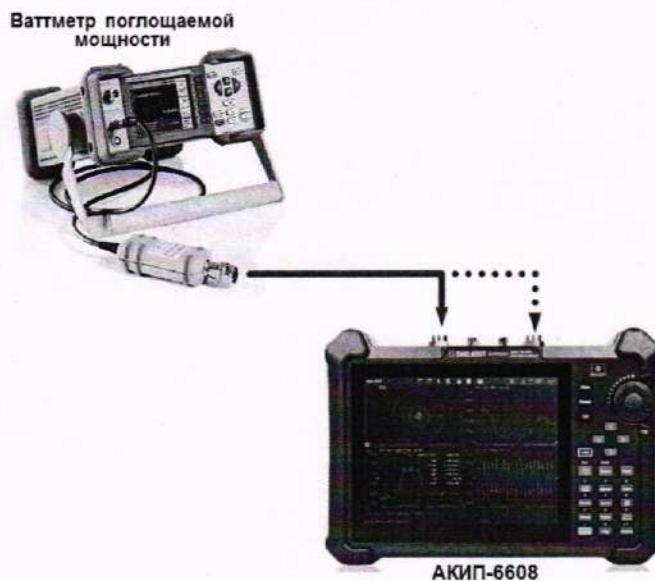


Рисунок 2 – Схема соединения приборов для определения диапазона установки уровня выходной мощности и абсолютной погрешности установки уровня мощности

10.2.3 Установить следующие параметры анализатора цепей для измерения максимального уровня мощности генератора в диапазоне частот:

- PRESET;
- MEAS: S21
- FREQ → Center: в соответствии с таблицей 3 (Установку частоты осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора);
- FREQ → Span: 0 Гц;
- POWER → RF Power: ON;
- POWER → Power Level: в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3

Центральная частота	Уровень выходной мощности, дБм	Абсолютная погрешность установки уровня мощности, дБ, не более
30 кГц	-11	
100 кГц	-11	
10 МГц	-3	
100 МГц	0	
500 МГц	2	
1 ГГц	2	
3 ГГц	2	
5 ГГц	2	
7 ГГц	0	
9 ГГц	3	
9,1 ГГц	3	
11 ГГц	3	
13 ГГц	3	
14 ГГц	3	
16 ГГц	0	
18 ГГц	0	
20 ГГц	0	
21 ГГц	-6	
23 ГГц	-6	
25 ГГц	-6	
26,5 ГГц	-6	
		±1,5
		±2,5

10.2.4 Абсолютную погрешность определять по формуле (2):

$$\Delta P = P_1 - P_2 , \quad (2)$$

где P_1 – уровень мощности, измеренный измерителем мощности, дБм;

P_2 – уровень выходной мощности анализатора, дБм.

Результаты операции поверки считать положительными, если абсолютная погрешность установки уровня мощности генератора не превышает значений, указанных в таблице 3.

10.2.5 Определение абсолютной погрешности установки уровня мощности генератора минус 11 дБм проводить методом прямых измерений с помощью ваттметра поглощаемой мощности NRP33T в соответствии с рисунком 2.

10.2.6 Установить следующие параметры анализатора цепей для измерения максимального уровня мощности генератора в диапазоне формируемых частот:

- PRESET;
- MEAS: S21
- FREQ → Center: в соответствии с таблицей 4 (Установку частоты осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора);
- FREQ → Span: 0 Гц;
- POWER → RF Power: ON;
- POWER → Power Level: -11 dBm.

Таблица 4

Центральная частота	Уровень выходной мощности, дБм	Абсолютная погрешность установки уровня мощности, дБ, не более
30 кГц	-11	
100 кГц	-11	
300 кГц	-11	
1 МГц	-11	
10 МГц	-11	
100 МГц	-11	
500 МГц	-11	
1 ГГц	-11	
3 ГГц	-11	
5 ГГц	-11	
7 ГГц	-11	
9 ГГц	-11	
11 ГГц	-11	
13 ГГц	-11	
14 ГГц	-11	
16 ГГц	-11	
18 ГГц	-11	
20 ГГц	-11	
22 ГГц	-11	
24 ГГц	-11	
26 ГГц	-11	
		±1,5
		±2,5

10.2.7 Абсолютную погрешность определять по формуле (2):

10.2.8 Повторить измерения по пунктам 10.2.3 и 10.2.8 для порта 2 установив режим MEAS: S12.

Результаты операции поверки считать положительными, если абсолютная погрешность установки уровня мощности генератора не превышает значений, указанных в таблице 4.

10.3 Определение абсолютной погрешности измерения уровня входной мощности и нелинейности приемного тракта

10.3.1 Определение абсолютной погрешности измерения уровня входной мощности проводить с помощью генератора сигналов высокочастотного, измерителя мощности NRP33T и делителя мощности.

10.3.2 Собрать схему измерения в соответствии с рисунком 3. Допускается использовать внешний источник опорной частоты для синхронизации всех используемых средств измерений.

10.3.3 Установить следующие параметры анализатора цепей для измерения уровня входной мощности в диапазоне частот:

- PRESET;
- FREQ → Center: в соответствии с таблицей 5 (Установку частоты осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора);
- FREQ → Span: 0 Гц;
- POWER → RF Power: OFF;
- POWER → Power Level: 0 dB;
- SCALE → Scale: 10dB;
- MEAS → Receiver: A Source Port 2;
- MATH → Analysis: Statistics ON.

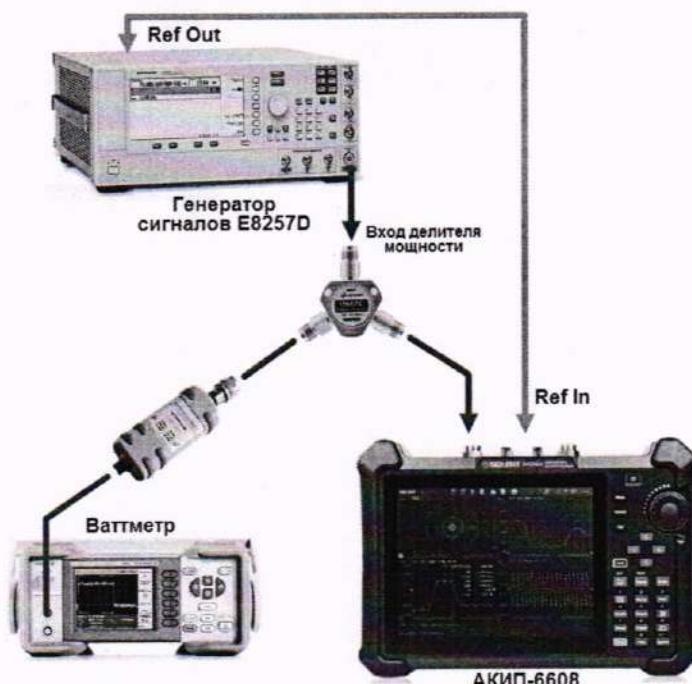


Рисунок 3 – Схема соединения приборов для определения абсолютной погрешности измерений уровня мощности

10.3.4 На генераторе сигналов установить частоту в соответствии с таблицей 5.

10.3.5 Установить уровень сигнала генератора таким образом, чтобы уровень входной мощности, измеряемый измерителем мощности, составлял 0 дБм.

10.3.6 Включить выход генератора, произвести измерения уровня мощности с помощью измерителя мощности и записать результаты измерений в таблицу 5.

10.3.7 Произвести измерения уровня на анализаторе цепей, за результат измерения взять значение из строки «Mean», записать результаты измерений в таблицу 5.

10.3.8 Абсолютную погрешность определять по формуле (3):

$$\Delta P_{\text{вх}} = P_1 - P_2 \quad , \quad (3)$$

где P_1 – уровень мощности, измеренный измерителем мощности, дБм;

P_2 – уровень мощности, измеренный анализатором цепей, дБм.

Таблица 5

Центральная частота	Уровень мощности, измеренный измерителем мощности, P_1 , дБм	Уровень мощности, измеренный анализатором цепей P_2 , дБм	Абсолютная погрешность измерения уровня мощности, дБ, не более
1	2	3	4
250 кГц			
300 кГц			
1 МГц			
10 МГц			
100 МГц			
500 МГц			
1 ГГц			
3 ГГц			
5 ГГц			
7 ГГц			
9 ГГц			
11 ГГц			
14 ГГц			
16 ГГц			
18 ГГц			
20 ГГц			
22 ГГц			
24 ГГц			
26 ГГц			

Результаты операции поверки считать положительными, если абсолютная погрешность измерений уровня входной мощности не превышает значений, указанных в таблице 5.

10.3.9 Определение нелинейности приемного тракта при измерении уровня мощности проводить по схеме в соответствии с рисунком 3.

10.3.10 Установить параметры анализатора в соответствии с п 10.3.3; FREQ → Center: 50 МГц;

10.3.11 Произвести измерение уровня мощности 0 dBm и записать его в таблицу 6 в качестве опорного значения P_0 . Произвести установку и измерение уровня мощности при других значениях уровня мощности генератора, указанных в таблице 6, контролируя уровень сигнала генератора измерителем мощности.

Таблица 6

Значение уровня генератора, измеренное измерителем мощности Р, дБм	Измеренное значение уровня анализатором цепей $P_{\text{изм}}$, дБм
0	P_0
-5	
-10	
-15	
-20	

10.3.12 Нелинейность входной мощности определить по формуле (4):

$$\Delta P_n = P_{изм} - (P_0 - P) , \quad (4)$$

где P_0 – значение уровня сигнала, измеренное анализатором при уровне 0 дБ;

P – значение уровня мощности генератора, указанный в таблице 6, измеренные измерителем мощности.

Результаты операции поверки считать положительными, если полученные значения нелинейности приемного тракта при измерении мощности находятся в пределах $\pm 0,5$ дБ.

10.3.13 Повторить измерения по пунктам 10.3.2 и 10.3.12 для частот 13,5 ГГц и 26,5 ГГц (для анализаторов цепей АКИП-6608/1, АКИП-6608/2).

10.3.14 Повторить измерения по пункту 10.3.4 – 10.3.13 для порта 2 анализатора применяя следующие настройки: MEAS → Receiver → B Source Port 1;

10.4 Определение среднеквадратического отклонения значения шумов измерительного тракта

10.4.1 Подключить к измерительным портам 1 и 2 анализатора нагрузки короткозамкнутые, как показано на рисунке 4.



Рисунок 4 – Схема соединения приборов для измерения среднеквадратического отклонения шумов измерительного тракта

10.4.2 Установить следующие параметры анализатора в соответствии с руководством по эксплуатации:

- PRESET;
- FREQ → Stop: в соответствии с таблицей 7 (Установку частоты осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора цепей);
- FREQ → Start: в соответствии с таблицей 7 (Установку частоты осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора цепей);
- POWER → RF Power: ON;
- POWER → Power Level: -11 dBm;
- AVG/BW → IF Bandwidth: в соответствии с таблицей 7;
- MEAS: S11;
- FORMAT: Log Mag.

10.4.3 Добавить график ФЧХ для измерений S11

10.4.4 Включить режим измерения значений частотной характеристики:

MATH → Analysis → Statistics: ON. Будет включен режим измерений для последней выбранной частотной характеристики. Для включения режима измерений других графиков активизировать пиктограмму этой частотной характеристики на экране и еще раз включить статистику измерений.

10.4.5 Выполнить выравнивание отображаемых на экране анализатора цепей частотных характеристик:

MATH → Memory: Normalize.

Будет произведено выравнивание для последней выбранной частотной характеристики. Для выравнивания других графиков активизировать пиктограмму этой частотной характеристики на экране и еще раз произвести выравнивание графика частотной характеристики.

10.4.6 Выполнить автомасштабирование всех отображаемых частотных характеристик: Scale: Auto Scale All.

10.4.7 Зафиксировать измеренное среднеквадратическое отклонение значения шумов при измерении модуля и фазы коэффициента отражения в установленном диапазоне частот (поле Srt Dev).

10.4.8 Изменить диапазон частот и полосу пропускания в соответствии с таблицей 7.

10.4.9 Повторить измерения для порта 1, выбрав в меню MEAS режим измерения S21 для модуля и фазы коэффициента передачи.

Таблица 7

Диапазон частот, МГц		Полоса пропускания, кГц	СКО шумов	
Старт	Стоп		Модуля	Фазы
0,03	1	1	0,009	0,06
1	9000		0,009	0,05
9000	14000		0,015	0,09
20000	26500		0,015	0,09

10.4.10 Повторить измерения для порта 2, выбрав в меню MEAS режим измерения S22 для модуля и фазы коэффициента отражения и S12 для модуля и фазы коэффициента передачи.

Результаты операции поверки считать положительными, если среднеквадратическое отклонение значения шумов результата измерений при измерении модуля/фазы коэффициента передачи и отражения не превышает значений, указанных в таблице 7.

10.5 Определение среднего значения уровня собственного шума приёмников

10.5.1 Подключить к измерительным портам 1 и 2 анализатора согласованные нагрузки в соответствии с рисунком 4 и установить следующие режимы измерений:

- PRESET;
- FREQ → Stop: в соответствии с таблицей 8 (Установку частоты осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора цепей);
- FREQ → Start: в соответствии с таблицей 8 (Установку частоты осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора цепей);
- MEAS → Receiver: A Source Port 2;
- POWER → RF Power: Off;
- SCALE → Auto Scale;
- Avg BW → Averaging Enable: ON;
- Avg BW → Bandwidth: 1 kHz;
- MATH → Analysis → Statistics: ON.

10.5.2 Дождаться окончания усреднения. Из результата статистики взять среднее значение результата измерения (поле Mean) $N_{1\text{кГц}}$. Зафиксировать результаты измерений.

10.5.3 Определить среднее значение уровня шума по формуле (5):

$$N_{1\Gamma\Gamma} = N_{1\text{кГц}} - 30 \text{ дБ} \quad (5)$$

где $N_{1\text{кГц}}$ – среднее значение уровня собственного шума, нормализованное к полосе 1 кГц, дБм.

Таблица 8

Диапазон частот, МГц		Среднее значение уровня собственного шума $N_{1\Gamma\Gamma}$, дБм
Старт	Стоп	
0,03	0,05	-70
0,05	0,2	-90
0,2	6200	-100
6200	9000	-90
9000	13500	-100
20000	26500	-80

10.5.4 Повторить измерения по пункту 10.5.1 – 10.5.3 порта 2 используя настройку MEAS → Receiver → B Source Port 1.

Результаты операции поверки считать положительными, если среднее значение уровня собственного шума приемников, нормализованное к полосе 1 Гц, не превышает значений, указанных в таблице 8.

10.6 Определение динамического диапазона при полосе пропускания 10 Гц

10.6.1 Подключить к измерительным портам 1 и 2 анализатора в соответствии с рисунком 4 согласованные нагрузки и установить следующие режимы измерений:

- PRESET;
- FREQ → Stop: в соответствии с таблицей 11 (Установку частоты осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора цепей);
- FREQ → Start: в соответствии с таблицей 11 (Установку частоты осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора цепей);
- MEAS: S21;
- POWER → RF Power: ON;
- POWER → Power Level: -11 dBm;
- SCALE → Scale: 10dB;
- SCALE → Reference Level: -105dB;
- SWEEP → Number of points: 21;
- Avg BW → Averaging Enable: ON;
- Avg BW → Bandwidth: 10 Hz;
- MATH → Analysis → Statistics: ON.

10.6.2 Дождаться окончания усреднения и из результата статистики взять среднее значение результата измерения (поле Mean).

10.6.3 Зафиксировать абсолютное значение результата измерения.

10.6.4 Произвести измерения для порта 2, изменив настройки на MEAS: S12.

Результаты операции поверки считать положительными, если динамический диапазон при полосе пропускания 10 Гц, не менее значений, указанных в таблице 9.

Таблица 9

Диапазон частот, МГц		Динамический диапазон, дБ
Старт	Стоп	
0,03	1	90
1	5000	100
5000	9000	90
9000	14000	100
14000	20000	90
20000	26500	60

10.7 Определение абсолютной погрешности измерения модуля и фазы коэффициентов отражения и передачи

10.7.1 Определение погрешности измерения модуля и фазы коэффициента отражения проводить при помощи набора мер коэффициентов передачи и отражения 85052D (далее набор мер 85052D) методом прямых измерений.

10.7.2 Установить следующие параметры анализатора

- PRESET;
- FREQ → Stop: максимальная для поверяемого анализатора;
- FREQ → Start: 30 kHz;
- POWER → RF Power: ON;
- POWER → Power Level: -10 dB;
- Avg BW → Bandwidth: 100 Hz;
- SWEEP → Number of Points: 1000.

10.7.3 В меню анализатора Cal → Cal Kit и в всплывающем окне «Manage Cal Kits» выбрать калибровочный набор F603ME, F603FE, F603TS, F604MS, F604FS, F604TS, F606TS, SEM5022A, SEM5032A, SEM5024A, SEM5034A.

10.7.4 Калибровочные наборы могут входить в комплект поставки по специальному заказу. При отсутствии в комплекте вышеуказанных калибровочных комплектов, допускается использовать другие калибровочные наборы утвержденного типа и имеющиеся в перечне меню «Manage Cal Kits».

10.7.4 Подключить к порту 2 фазостабильный кабель и выполнить полную двухпортовую калибровку SOLT при помощи выбранного набора мер согласно руководству по эксплуатации и следуя указаниям на экране анализатора цепей. В процессе проведения калибровки, температура окружающей среды должна быть в пределах 25 ± 3 °C и после полной двухпортовой калибровки при проведении измерений отклонение температуры окружающего воздуха не должно превышать отклонение ± 1 °C от температуры калибровки. Подключение калибровочных и эталонных мер производить с использованием ключа тарированного, а к кабелю и с использованием удерживающего ключа.

10.7.5 Подключить к анализатору для измерений к портам 1 и 2 эталонные нагрузки короткозамкнутые из набора мер 85052D согласно эксплуатационной документации набора мер 85052D. Схема подключения приведена на рисунке 5.

10.7.6 В настройках отображения данных измерений анализатора (меню Meas и Format) выбрать следующие параметры измерений - модуль коэффициента отражения S11, формат отображения LinMag.

10.7.7 Добавить график частотной характеристики и для него выбрать параметры измерений – S11, формат отображения Phase.

10.7.8 Добавить график частотной характеристики и для него выбрать параметры измерений - модуль коэффициента отражения S22, формат отображения LinMag.

10.7.9 Нажатием на кнопку «Marker» включить маркерные измерения.

10.7.10 Дождаться окончания формирования графиков всех частотных характеристик и нажатием на кнопки Trigger → Hold остановить свипирование. Произвести автомасштабирование измеряемых данных.

10.7.11 Установить частоту маркера 10 МГц, записать значения коэффициентов отражения и фазы S_1 для портов 1 и 2 одновременно.

10.7.12 Повторить измерения маркерами на частотах 100 МГц; 1; 3; 5; 7; 9; 11; 13; 15; 17; 19; 21; 23; 25; 26 ГГц, в зависимости от частотного диапазона анализатора.

10.7.13 Абсолютную погрешность измерений модуля коэффициента отражения и фазы коэффициента отражения вычислить по формуле (6):

$$S = S_1 - S_0 , \quad (6)$$

где S_0 – значения коэффициентов отражения и фазы для нагрузки короткозамкнутой подключенной к выбранному порту и указанные в протоколе поверки набора мер.



Рисунок 5 – Схема соединения приборов для определения погрешности измерения модуля и фазы коэффициента отражения

Результаты операции поверки считать положительными, если полученные значения погрешностей не превышают допускаемых пределов, приведенных в таблице 10.

Таблица 10

Наименование характеристики	Значение характеристики			
Значения модуля коэффициента отражения	1	0,2	0,1	0
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения				
- в диапазоне частот от 30 кГц до 9 ГГц	$\pm 0,037$	$\pm 0,011$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$
- в диапазоне частот св. 9 ГГц до 20 ГГц	$\pm 0,06$	$\pm 0,016$	$\pm 0,013$	$\pm 0,011$
- в диапазоне частот св. 20 ГГц до 26,5 ГГц	$\pm 0,066$	$\pm 0,019$	$\pm 0,016$	$\pm 0,014$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения, °				
- в диапазоне частот от 30 кГц до 9 ГГц	$\pm 2,6$	$\pm 3,92$	$\pm 6,43$	-
- в диапазоне частот св. 9 ГГц до 20 ГГц	$\pm 4,17$	$\pm 5,06$	$\pm 8,16$	-
- в диапазоне частот св. 20 ГГц до 26,5 ГГц	$\pm 4,29$	$\pm 5,86$	$\pm 9,8$	-

10.7.14 Подключить к анализатору для измерений к портам 1 и 2 эталонные нагрузки холостого хода из набора мер 85052D согласно эксплуатационной документации набора мер 85052D. Схема подключения приведена на рисунке 5.

10.7.15 Провести измерения по п. п. 10.7.11 и 10.7.14.

10.7.16 Подключить к анализатору для измерений к портам 1 и 2 эталонные согласованные нагрузки из набора мер 85052D согласно эксплуатационной документации набора мер 85052D. Схема подключения приведена на рисунке 5.

10.7.17 Провести измерения по п. п 10.7.11 и 10.7.14. Измерение модуля фазы коэффициента отражения при подключеной согласованной нагрузке не производить.

10.7.18 Подключить к анализатору для измерений аттенюатор 20 дБ из набора мер 85053B в соответствии с рисунком 6.



Рисунок 6 – Схема соединения приборов для определения погрешности измерения модуля и фазы коэффициента передачи

10.7.19 В настройках отображения данных измерений анализатора (меню Meas и Format) выбрать следующие параметры измерений - модуль коэффициента передачи S21, формат отображения LogMag.

10.7.20 Добавить график частотной характеристики и для него выбрать параметры измерений – S21, формат отображения Phase.

10.7.21 Добавить график частотной характеристики и для него выбрать параметры измерений - модуль коэффициента передачи S12, формат отображения LogMag.

10.7.22 Добавить график частотной характеристики и для него выбрать параметры измерений – S12, формат отображения Phase.

10.7.23 В меню Trigger запустить свипирование по частоте. Дождаться окончания формирования графиков всех частотных характеристик и нажатием на кнопки Trigger → Hold остановить свипирование.

10.7.24 Установить частоту маркера 10 МГц, записать значения коэффициентов передачи и фазы S₁ для портов 1 и 2 одновременно.

10.7.25 Повторить измерения маркерами на частотах 100 МГц; 1; 3; 5; 7; 9; 11; 13; 15; 17; 19; 21; 23; 25; 26 ГГц, в зависимости от частотного диапазона анализатора.

10.7.26 Абсолютную погрешность измерений модуля коэффициента передачи и фазы коэффициента передачи вычислить по формуле (7):

$$S = S_1 - S_3 \quad (7)$$

где S_3 – значения коэффициентов передачи и фазы для аттенюатора 20 дБ, указанные в протоколе поверки набора мер.

Результаты операции поверки считать положительными, если полученные значения погрешностей не превышают допускаемых пределов, приведенных в таблице 11.

Таблица 11

Наименование характеристики	Значение ослабления, 20 дБ
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи, дБ	
- в диапазоне частот от 30 кГц до 9 ГГц	±0,243
- в диапазоне частот св. 9 ГГц до 20 ГГц	±0,253
- в диапазоне частот св. 20 ГГц до 26,5 ГГц	±0,223
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи, °	
- в диапазоне частот от 30 кГц до 9 ГГц	±0,79
- в диапазоне частот св. 9 ГГц до 20 ГГц	±0,85
- в диапазоне частот св. 20 ГГц до 26,5 ГГц	±0,65

10.8 Определение абсолютной погрешности измерения уровня мощности входного сигнала в режиме анализатора спектра (при установленной опции SA)

10.8.1 Определение абсолютной погрешности измерения уровня входного сигнала в режиме анализатора спектра проводят с помощью генератора сигналов высокочастотного, измерителя мощности NRP33T и делителя мощности.

10.8.2 Собрать схему измерения в соответствии с рисунком 3. Допускается использовать внешний источник опорной частоты для синхронизации всех используемых средств измерений.

10.8.3 Установить следующие параметры анализатора цепей для измерения уровня мощности в диапазоне частот:

- PRESET;
- MEAS → SA → A;
- FREQ → Center: в соответствии с таблицей 12;
- FREQ → Span: 10 кГц;
- POWER → RF Power: ON;
- POWER → Power Level: -10 dB;
- SCALE → Scale: 10dB;
- SEARCH → Max Search.

10.8.4 На генераторе сигналов установить частоту в соответствии с таблицей 12.

10.8.5 Установить уровень сигнала генератора таким образом, чтобы уровень мощности, измеряемый измерителем мощности, составлял 0 дБм и включить выход генератора.

10.8.6 Произвести измерения уровня мощности с помощью измерителя мощности и записать результаты измерений в таблицу 12.

10.8.7 Произвести измерениям уровня сигнала на анализаторе цепей с помощью маркера «Mean» и записать результаты измерений в таблицу 12.

10.8.8 Абсолютную погрешность измерения уровня мощности вычислить по формуле (8):

$$P_{\text{вх}} = P_1 - P_2 \quad , \quad (8)$$

где P_1 – уровень мощности, измеренный измерителем мощности, дБм;
 P_2 – уровень мощности, измеренный анализатором, дБм.

Таблица 12

Центральная частота	Уровень мощности, измеренный измерителем мощности P_1 , дБм	Уровень мощности, измеренный анализатором цепей P_2 , дБм	Абсолютная погрешность измерения уровня мощности, дБ, не более
250 кГц			±2,5
1 МГц			±2,5
10 МГц			±1,5
100 МГц			±1,5
500 МГц			±1,5
1 ГГц			±1,5
3 ГГц			±1,5
5 ГГц			±1,5
7 ГГц			±1,5
9 ГГц			±1,5
11 ГГц			±1,5
13,05 ГГц			±1,5
15 ГГц			±1,5
17 ГГц			±1,5
19 ГГц			±1,5
21 ГГц			±2,0
23 ГГц			±2,0
25 ГГц			±2,0
26,5 ГГц			±2,0

10.8.9 Повторить измерения для уровней мощности 0; -10; -20 дБм для частот, указанных в таблице 12.

Результаты операции поверки считать положительными, если абсолютная погрешность измерений уровня мощности не превышает значений, указанных в таблице 12.

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1 Результаты поверки подтверждаются сведениями о результатах поверки средств измерений,ключенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

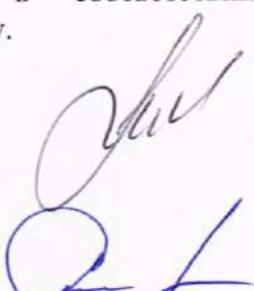
11.2 При положительных результатах поверки по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке и (или) наносится знак поверки на средство измерений.

11.3 При отрицательных результатах поверки (когда не подтверждается соответствие средств измерений метрологическим требованиям) по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается извещение о непригодности.

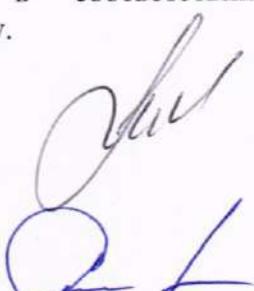
11.4 Протоколы поверки оформляются в соответствии с требованиями, установленными в организации, проводившей поверку.

Начальник отдела испытаний
АО «ПриСТ»

Ведущий инженер по метрологии
отдела испытаний АО «ПриСТ»



О. В. Котельник



Е. Е. Смердов

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 – Метрологические характеристики анализаторов

Наименование характеристики	Значение	
1	2	
Пределы допускаемой относительной погрешности частоты опорного генератора	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки уровня мощности генератора -10 дБм, дБм	от 30 кГц до 20 ГГц включ. св. 20,0 до 26,5 ГГц включ.	$\pm 1,5$ $\pm 2,5$
Нелинейность амплитудной характеристики генератора для уровня свыше -20 дБ, дБ	от 30 кГц до 20 ГГц включ. св. 20,0 до 26,5 ГГц включ.	± 1 ± 2
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения уровня входной мощности, для уровня -15 дБм, дБ	в режиме векторного анализатора цепей от 30 кГц до 1 ГГц включ. св. 1 до 20 ГГц включ. св. 20,0 до 26,5 ГГц включ. в режиме анализатора спектра от 30 кГц до 1 ГГц включ. св. 1 до 20 ГГц включ. св. 20,0 до 26,5 ГГц включ.	$\pm 1,5$ $\pm 2,0$ $\pm 2,5$ $\pm 1,5$ $\pm 2,0$ $\pm 2,5$
Нелинейность приемного тракта при измерении уровня входной мощности, дБ	0,5	
Уровень собственного шума приемников, нормализованный к полосе 10 Гц, в диапазоне частот (Nf), дБ, не более	от 30 до 50 кГц включ. св. 50 до 200 кГц включ. св. 200 кГц до 6,2 ГГц включ. св. 6,2 до 9,0 ГГц включ. св. 9 до 20 ГГц включ. св. 20,0 до 26,5 ГГц включ.	-70 -90 -100 -90 -100 -80
Среднеквадратическое отклонение значения шумов измерительного тракта при измерении модуля/фазы коэффициентов передачи и отражения, в диапазоне частот, дБ/градус, не более	от 30 кГц до 1 МГц включ. (полоса ПЧ 1 кГц) св. 1,0 МГц до 9,0 ГГц включ. (полоса ПЧ 10 кГц) св. 9,0 до 26,5 ГГц включ. (полоса ПЧ 10 кГц)	Модуль 0,009 0,009 0,015 Фаза 0,06 0,05 0,09
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения ΔS_{11} (полоса пропускания 10 Гц, без применения усреднения), дБ	$\pm \left[Lc \cdot \left(Ed \cdot \frac{S_{11} \cdot Er}{1 - S_{11} \cdot Es} \right) + \sqrt{\frac{Nf}{Ps}} \cdot \left(\frac{Er}{1 - S_{11} \cdot Es} + \frac{Ed}{S_{11}} \right) - S_{11} \right]$	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения $\Delta\phi$ (полоса пропускания 10 Гц, без применения усреднения), градус	$\pm \left[0,5 + \frac{180}{\pi} \cdot \arcsin \left(\frac{\Delta S_{11}}{S_{11}} \right) \right]$	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи ΔS_{21} (полоса пропускания 10 Гц, без применения усреднения), дБ	$0,2 + \frac{Lc \cdot \left(\frac{S_{21} \cdot Er}{1 - El \cdot Es \cdot S_{21}^2} \right) + \frac{Et \cdot \sqrt{\frac{Nf}{Ps}}}{1 - El \cdot Es \cdot S_{21}^2}}{S_{21}}$	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи (полоса пропускания 10 Гц, без применения усреднения), градус	$0,5 + \frac{180}{\pi} \cdot \arcsin(\Delta S_{21} - 1)$	