

СОГЛАСОВАНО

Первый заместитель генерального директора -
заместитель по научной работе
ФГУП «ВНИИФТРИ»



А.Н. Щипунов

2024 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ ВЕКТОРНЫЕ Р4226А

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 113-23-013

2024 г.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок анализаторов цепей векторных P4226A (далее – АЦ), изготавливаемых акционерным обществом «Научно-производственная фирма «Микран».

1.2 Первичной поверке подлежат АЦ до ввода в эксплуатацию и после ремонта. Периодической поверке подлежат АЦ, находящиеся в эксплуатации и на хранении.

1.3 При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость поверяемых АЦ к ГЭТ 219-2024 «Государственный первичный эталон единиц комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц» в соответствии с Приказом Росстандарта №1796 от 05 августа 2024 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц».

1.4 Поверка АЦ может осуществляться только аккредитованным на проведение поверки в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации лицом в соответствии с его областью аккредитации.

1.5 При проведении поверки необходимо руководствоваться настоящей методикой и эксплуатационной документацией на АЦ и на используемое при поверке оборудование. Методика поверки реализуется посредством методов прямых измерений и методов сравнения.

1.6 Поверка допускается только при наличии кабелей СВЧ в комплекте АЦ (не менее одного для измерений в коаксиальном волноводе, и не менее двух для измерений в прямоугольном волноводе). При наличии в комплекте АЦ калибратора электронного (далее – ЭК), поверка проводится только с ним.

1.7 Поверка в волноводном тракте прямоугольного сечения проводится только при наличии в комплекте поставки набора(-ов) НКМВ-У.

1.8 В результате поверки должны быть подтверждены метрологические характеристики, приведённые в таблице 1.

Таблица 1 – Основные метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение характеристики
Диапазон рабочих частот, МГц:	
- при работе в коаксиальном волноводе	от 10 до 26500
- при работе в прямоугольном волноводе 72×34 мм	от 2590 до 3940
- при работе в прямоугольном волноводе 58×25 мм	от 3200 до 4800
- при работе в прямоугольном волноводе 48×24 мм	от 3940 до 5640
- при работе в прямоугольном волноводе 40×20 мм	от 4800 до 6850
- при работе в прямоугольном волноводе 35×15 мм	от 5640 до 8150
- при работе в прямоугольном волноводе 28,5×12,6 мм	от 6850 до 9930
- при работе в прямоугольном волноводе 23×10 мм	от 8150 до 12050
- при работе в прямоугольном волноводе 16×8 мм	от 12050 до 17440
- при работе в прямоугольном волноводе 11×5,5 мм	от 17440 до 25950

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение характеристики
Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	$\pm 2 \cdot 10^{-6}$
Диапазон установки уровня выходной мощности, дБ/мВт ¹⁾ Для ПОРТ 1 - в диапазоне частот от 10,0 МГц до 26,5 ГГц включ. Для ПОРТ 2 - в диапазоне частот от 10 МГц до 100 МГц включ. - в диапазоне частот св. 100 МГц до 24 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 24,0 ГГц до 26,5 ГГц включ.	от -50 до 10 от -50 до 3 от -50 до 10 от -50 до 7
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности, дБ: - при уровне мощности от минус 20 дБ/мВт до 10 дБ/мВт - при уровне мощности менее минус 20 дБ/мВт	$\pm 1,0$ $\pm 1,5$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения уровня входной мощности (для диапазона установки уровня выходной мощности), дБ	$\pm 1,5$
Диапазон ослаблений аттенюаторов измерительных приемников (с шагом 10 дБ), дБ	от 0 до 30
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки величины ослабления аттенюаторов измерительных приемников, дБ	$\pm 2,0$
Средний уровень собственного шума приемников в диапазоне частот, дБ/мВт в полосе 1 Гц, не более: для ПОРТ 1 - в диапазоне частот от 10 МГц до 50 МГц включ. - в диапазоне частот св. 50 МГц до 200 МГц включ. - в диапазоне частот св. 200 МГц до 500 МГц включ. - в диапазоне частот св. 500 МГц до 1 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 1,00 ГГц до 13,25 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,50 ГГц включ. для ПОРТ 2 - в диапазоне частот от 10 МГц до 50 МГц включ. - в диапазоне частот св. 50 МГц до 200 МГц включ. - в диапазоне частот св. 200 МГц до 500 МГц включ. - в диапазоне частот св. 500 МГц до 1 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 1,00 ГГц до 13,25 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,50 ГГц включ.	-80 -100 -120 -125 -127 -132 -80 -100 -120 -125 -125 -127
Диапазон измерений модуля коэффициента отражения	от 0 до 1

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение характеристики
<p>Диапазон измерений модуля коэффициента передачи, дБ²⁾ для ПОРТ 1</p> <ul style="list-style-type: none"> - в диапазоне частот от 10 МГц до 50 МГц включ. - в диапазоне частот св. 50 МГц до 200 МГц включ. - в диапазоне частот св. 200 МГц до 500 МГц включ. - в диапазоне частот св. 500 МГц до 1 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 1,00 ГГц до 13,25 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,5 ГГц включ. <p>для ПОРТ 2</p> <ul style="list-style-type: none"> - в диапазоне частот от 10 МГц до 50 МГц включ. - в диапазоне частот св. 50 МГц до 200 МГц включ. - в диапазоне частот св. 200 МГц до 500 МГц включ. - в диапазоне частот св. 500 МГц до 1 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 1,00 ГГц до 13,25 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,50 ГГц включ. 	<p>от -70 до 80</p> <p>от -90 до 80</p> <p>от -110 до 80</p> <p>от -115 до 80</p> <p>от -117 до 80</p> <p>от -122 до 80</p> <p>от -70 до 80</p> <p>от -90 до 80</p> <p>от -110 до 80</p> <p>от -115 до 80</p> <p>от -115 до 80</p> <p>от -117 до 80</p>
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения (КО) ³⁾⁴⁾	см. таблицу 2
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы КО ³⁾⁴⁾	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи (КП) в диапазоне измерений модуля КП от минус 70 до 0 дБ ³⁾⁴⁾	см. таблицу 3
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы КП в диапазоне измерений модуля коэффициента передачи от минус 70 до 0 дБ ³⁾⁴⁾	
Среднеквадратическое значение шумов измерительной трассы при измерении модуля коэффициента передачи и коэффициента отражения, ⁵⁾ при выходной мощности 0 дБ/мВт и полосе фильтра ПЧ 1 кГц, дБ, не более:	0,01 0,004
<ul style="list-style-type: none"> - в диапазоне частот от 10 МГц до 100 МГц включ. - в диапазоне частот св. 100,0 МГц до 26,5 ГГц включ. 	
Измерение коэффициента шума (КШ):	
Диапазон суммы $S_0 = (KШ [дБ] + S_{21} [дБ])$ исследуемого устройства (ИУ), при $ S_{21} \geq 4,5$ дБ ⁶⁾	от 5 до 40
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений КШ (для ИУ с КСВН не более 1,7) в диапазоне от 0,1 до 26,5 ГГц, избыточная относительная шумовая температура (ИОШТ) генератора шума (ГШ) 15 дБ в зависимости от пределов погрешности (ПГ) ИОШТ ГШ, дБ ⁴⁾⁷⁾⁸⁾	см. таблицу 4
КСВН входа порта 2 при измерении КШ в диапазоне от 0,1 до 26,5 ГГц, не более	2,35
<p>¹⁾Сокращение дБ/мВт обозначает уровень мощности в дБ относительно 1 мВт.</p> <p>²⁾Для КП>0 дБ понимается коэффициент усиления активных устройств, который может быть обеспечен путем изменения выходной мощности АЦ до минус 50 дБм/мВт и установки ослабления аттенюатора приемника АЦ до 30 дБ.</p> <p>При этом для 0 дБ<КП≤50 дБ, ПГ КП будет соответствовать КП из таблицы 3, минус установленное ослабление аттенюатора приемника (т.е. требуется обеспечить уровень измеряемой мощности, соответствующий условиям, указанным в сноске ³⁾).</p>	

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение характеристики
<p>Например, для коэффициента усиления 20, $R_{\text{вых}} = \text{минус } 20$, включенных аттенюаторов приемников 10 дБ, ПГ КП будет соответствовать таблице 3 для КП = минус 10 дБ (т.е. КП= 20–20–10–10).</p>	
<p>³⁾ Диапазоны и пределы погрешностей измерений коэффициентов передачи и отражения нормируется в полосе пропускания фильтра ПЧ 100 Гц и приведены при уровне выходной мощности источника сигнала 0 дБ/мВт, при ослаблении аттенюаторов приемников 0 дБ, для рабочего диапазона температур окружающей среды и изменении температуры не более ± 2 °С после выполнения однопортовой (только для коэффициента отражения) или полной двухпортовой калибровки (включая изоляцию), с использованием:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - наборов калибровочных мер для коаксиальных волноводов, входящих в комплектность АЦ, (для наборов в тракте с поперечным сечением 7,0/3,04 мм значения погрешностей в таблицах 2 и 3 справедливы только до 18 ГГц включительно); допускается использование других наборов с такими же метрологическими характеристиками или лучше. 	
<ul style="list-style-type: none"> - калибратора электронного, входящего в комплектность АЦ; - набора калибровочных мер для прямоугольного волновода, входящего в комплектность АЦ (только двухпортовая калибровка). 	
<p>⁴⁾ Значения погрешностей приведены для наборов калибровочных мер (НКММ), калибраторов электронных (ЭК) и наборов калибровочных мер прямоугольных волноводов (НКМВ) из состава АЦ.</p>	
<p>⁵⁾ Определяется при соединении измерительных портов кабелем СВЧ и при подключении к измерительным портам короткозамкнутых нагрузок.</p>	
<p>⁶⁾ Нижняя граница достигается при фильтре разрешения не менее 15 МГц, верхняя – не более 3 МГц; данные получены для усреднения в приборе 100 на гармоническом сигнале.</p>	
<p>⁷⁾ При температуре окружающей среды 25 °С; без учета зависимости собственного шума АЦ и ИУ от входного импеданса и отличия КСВН ГШ от 1; при использовании механического набора мер для калибровки S-параметров и ГШ с номинальным ИОШТ 15 дБ; измерение КСВН, необходимых для расчета указанных пределов погрешности, проводится на порту АЦ без использования кабеля с помощью однопортовой калибровки.</p>	
<p>⁸⁾ При обеспечении входной мощности порта 2 АЦ минус 10 дБ/мВт во время измерения S-параметров (это достигается, например, регулировкой выходной мощности порта 1 АЦ, либо использованием аттенюаторов приемника от 10 до 30 дБ).</p>	

Таблица 2 – Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля КО $\Delta|S_{xx}|$ и фазы КО $\Delta\Phi_{xx}$

Наборы мер	$ КО $, отн. ед.	Диапазон частот, ГГц					
		$\Delta S_{xx} $, отн. ед. ¹⁾			$\Delta\Phi_{xx}$, градус ¹⁾		
		от 0,01 до 0,10 ГГц невлк.	от 0,1 до 18 ГГц вкл.	свыше 18 ГГц	от 0,01 до 0,10 ГГц невлк.	от 0,1 до 18 ГГц вкл.	свыше 18 ГГц
Набор калибровочных мер НКММ	0,0	±0,025	±0,011	±0,014	±180,00	±180,00	±180,00
	0,1	±0,023	±0,011	±0,015	±14,38	±6,95	±9,02
	0,2	±0,021	±0,012	±0,016	±7,21	±3,99	±5,04
	0,3	±0,020	±0,013	±0,017	±4,91	±3,03	±3,77
	0,4	±0,019	±0,015	±0,019	±3,81	±2,58	±3,16
	0,6	±0,018	±0,018	±0,022	±2,81	±2,18	±2,62
	0,8	±0,018	±0,021	±0,027	±2,41	±2,04	±2,41
	1,0	±0,020	±0,026	±0,032	±2,25	±1,99	±2,33
ЭК	0,0	±0,028	±0,026	±0,037	±180,00	±180,00	±180,00
	0,1	±0,042	±0,023	±0,034	±27,02	±16,64	±24,18
	0,2	±0,053	±0,021	±0,032	±17,93	±9,36	±13,52
	0,3	±0,063	±0,020	±0,031	±14,64	±7,15	±10,25
	0,4	±0,071	±0,020	±0,031	±12,75	±6,18	±8,77
	0,6	±0,082	±0,023	±0,034	±10,36	±5,49	±7,58
	0,8	±0,086	±0,030	±0,042	±8,64	±5,41	±7,28
	1,0	±0,082	±0,040	±0,053	±7,20	±5,59	±7,34
Наборы мер	$ КО $, отн. ед.	Волноводные тракты					
		$\Delta S_{xx} $, отн. ед. ¹⁾			$\Delta\Phi_{xx}$, градус ¹⁾		
		16×8; 23×10; 28,5×12,6; 35×15; 40×20; 48×24; 58×25; 72×34 (от $f_{\text{H}}^{\text{min}}$ до $f_{\text{B}}^{\text{max}2}$)	11×5,5 (от $f_{\text{H}}^{\text{min}}$ до $f_{\text{B}}^{\text{max}2}$)		16×8; 23×10; 28,5×12,6; 35×15; 40×20; 48×24; 58×25; 72×34 (от $f_{\text{H}}^{\text{min}}$ до $f_{\text{B}}^{\text{max}2}$)		11×5,5 (от $f_{\text{H}}^{\text{min}}$ до $f_{\text{B}}^{\text{max}2}$)
НКМВ ²⁾	0,0	±0,009	±0,009	±0,009	±180,00	±180,00	±180,00
	0,1	±0,010	±0,010	±0,010	±7,66	±7,92	±7,92
	0,2	±0,011	±0,011	±0,011	±5,16	±5,30	±5,30
	0,3	±0,012	±0,012	±0,012	±4,35	±4,46	±4,46
	0,4	±0,014	±0,014	±0,014	±3,98	±4,07	±4,07
	0,6	±0,017	±0,017	±0,017	±3,65	±3,73	±3,73
	0,8	±0,022	±0,022	±0,022	±3,54	±3,61	±3,61
	1,0	±0,026	±0,026	±0,026	±3,51	±3,58	±3,58

Продолжение таблицы 2

¹⁾Значения $\Delta|S_{xx}|$ и $\Delta\Phi_{xx}$ приведены при условии $S_{yx} = S_{xy} = 0$ отн. ед. Для значений КО, не указанных в данной таблице, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\Delta|S_{xx}|$ в отн. ед. и $\Delta\Phi_{xx}$ в градусах допускается определять, пользуясь аппроксимациями в диапазонах частот по формулам:

для НКММ

от 0,01 до 0,1 ГГц невлк.: $\Delta|S_{xx}| = \pm(0,025 - 0,022 \cdot |S_{xx}| + 0,017 \cdot |S_{xx}|^2);$

$\Delta\Phi_{xx} = \pm(1,1 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}/|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}));$

от 0,1 до 18 ГГц: $\Delta|S_{xx}| = \pm(0,0105 + 0,0065 \cdot |S_{xx}| + 0,009 \cdot |S_{xx}|^2);$

$\Delta\Phi_{xx} = \pm(0,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}/|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}));$

свыше 18 ГГц: $\Delta|S_{xx}| = \pm(0,014 + 0,007 \cdot |S_{xx}| + 0,011 \cdot |S_{xx}|^2);$

$\Delta\Phi_{xx} = \pm(0,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}/|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}));$

для ЭК

от 0,01 до 0,1 ГГц невлк.: $\Delta|S_{xx}| = \pm(0,028 + 0,144 \cdot |S_{xx}| - 0,090 \cdot |S_{xx}|^2);$

$\Delta\Phi_{xx} = \pm(2,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}/|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}));$

от 0,1 до 18 ГГц: $\Delta|S_{xx}| = \pm(0,026 - 0,034 \cdot |S_{xx}| + 0,048 \cdot |S_{xx}|^2);$

$\Delta\Phi_{xx} = \pm(3,3 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}/|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}));$

свыше 18 ГГц: $\Delta|S_{xx}| = \pm(0,037 - 0,035 \cdot |S_{xx}| + 0,051 \cdot |S_{xx}|^2);$

$\Delta\Phi_{xx} = \pm(4,3 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}/|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}));$

для НКМВ

в трактах 16×8; 23×10; 28,5×12,6; 35×15; 40×20; 48×24; 58×25; 72×34:

$\Delta|S_{xx}| = \pm(0,0089 + 0,0088 \cdot |S_{xx}| + 0,0087 \cdot |S_{xx}|^2);$

в тракте 11×5,5: $\Delta|S_{xx}| = \pm(0,0093 + 0,0092 \cdot |S_{xx}| + 0,0091 \cdot |S_{xx}|^2);$

во всех трактах для НКМВ:

$\Delta\Phi_{xx} = \pm(2 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}/|S_{xx}| \text{ [отн. ед.]}));$

где $|S_{xx}|$ – измеренное на АЦ значение или модуля S-параметра $|S_{11}|$, или модуля $|S_{22}|$, отн. ед.

²⁾ $f_{\text{Н}}^{\text{min}}$, $f_{\text{В}}^{\text{max}}$ – соответственно нижняя и верхняя рабочие частоты для прямоугольных волноводов. Значения погрешностей для НКМВ даны только в диапазонах рабочих частот от $f_{\text{Н}}^{\text{min}}$ до $f_{\text{В}}^{\text{max}}$ соответствующих прямоугольных волноводов.

Таблица 3 – Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля КП $\Delta|S_{yx}|$ и фазы КП $\Delta\Phi_{yx}$ в диапазоне измерений модуля коэффициента передачи от минус 70 до 0 дБ

Наборы мер	КП , дБ	Диапазон частот, ГГц					
		$\Delta S_{yx} $, дБ ¹⁾			$\Delta\Phi_{yx}$, градус ¹⁾		
		от 0,01 до 0,10 ГГц невкл.	от 0,1 до 18 ГГц вкл.	свыше 18 ГГц	от 0,01 до 0,10 ГГц невкл.	от 0,1 до 18 ГГц вкл.	свыше 18 ГГц
Набор калибровочных мер НКММ	0	±0,97	±0,10	±0,15	±6,92	±1,24	±2,02
	-10	±0,99	±0,11	±0,17	±7,08	±1,31	±2,10
	-20	±1,03	±0,12	±0,19	±7,29	±1,42	±2,24
	-30	±1,07	±0,15	±0,22	±7,59	±1,58	±2,43
	-40	±1,14	±0,18	±0,26	±8,02	±1,81	±2,72
	-50	±1,22	±0,24	±0,33	±8,60	±2,16	±3,15
	-60	±1,35	±0,31	±0,42	±9,42	±2,67	±3,78
	-70	±1,52	±0,43	±0,56	±10,56	±3,41	±4,70
ЭК	0	±1,15	±0,33	±0,33	±19,63	±2,85	±4,26
	-10	±1,23	±0,33	±0,33	±20,12	±2,87	±4,27
	-20	±1,34	±0,33	±0,33	±20,85	±2,89	±4,30
	-30	±1,50	±0,34	±0,34	±21,97	±2,94	±4,36
	-40	±1,75	±0,35	±0,36	±23,65	±3,04	±4,48
	-50	±2,13	±0,38	±0,39	±26,16	±3,22	±4,69
	-60	±2,67	±0,44	±0,46	±29,87	±3,57	±5,10
	-70	±3,43	±0,54	±0,57	±35,28	±4,23	±5,88
НКМВ ²⁾	КП , дБ	Диапазон частот, ГГц					
		$\Delta S_{yx} $, дБ ¹⁾			$\Delta\Phi_{yx}$, градус ¹⁾		
		(от $f_{\text{н}}^{\text{min}}$ до $f_{\text{в}}^{\text{max}}$) ²⁾			(от $f_{\text{н}}^{\text{min}}$ до $f_{\text{в}}^{\text{max}}$) ²⁾		
		0	±0,14		±1,49		
		-10	±0,16		±1,57		
		-20	±0,18		±1,71		
		-30	±0,21		±1,93		
		-40	±0,26		±2,27		
		-50	±0,34		±2,82		
	-60	±0,48		±3,70			
	-70	±0,69		±5,07			

¹⁾Значения $\Delta|S_{yx}|$ указаны при условии $S_{xx} = S_{yy} = 0$ отн. ед., $S_{yx} = S_{xy}$ при $S_{yx} < 1$ отн. ед. и $S_{yx} = 1/S_{xy}$ при $S_{yx} > 1$ отн. ед. Для значений КП, не указанных в данной таблице, пределы погрешностей $\Delta|S_{yx}|$ в дБ и $\Delta\Phi_{yx}$ в градусах допускается определять, пользуясь аппроксимациями в диапазонах частот по формулам:

для НКММ
от 0,01 до 0,1 ГГц невлк.:

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,111 + 0,014 \cdot (|S_{xx}| [\text{отн. ед.}] + |S_{yy}| [\text{отн. ед.}] + 0,00735 \cdot 10^{-0,0148 \cdot |S_{yx}| [\text{дБ}]});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (0,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20));$$

от 0,1 до 18 ГГц:

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,0085 + 0,014 \cdot (|S_{xx}| [\text{отн. ед.}] + |S_{yy}| [\text{отн. ед.}] + 0,0027 \cdot 10^{-0,0170 \cdot |S_{yx}| [\text{дБ}]});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (0,6 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20));$$

Продолжение таблицы 3

свыше 18 ГГц:

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,0147 + 0,0140 \cdot (|S_{xx}| \text{ [отн. ед.] } + |S_{yy}| \text{ [отн. ед.]}) + 0,0032 \cdot 10^{-0,0173 \cdot |S_{yx}| \text{ [дБ]}});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (1,0 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| \text{ [дБ]} \cdot \ln(10)/20));$$

для ЭК

от 0,01 до 0,1 ГГц невлк.:

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,1240 + 0,0140 \cdot (|S_{xx}| \text{ [отн. ед.] } + |S_{yy}| \text{ [отн. ед.]}) + 0,0180 \cdot 10^{-0,0186 \cdot |S_{yx}| \text{ [дБ]}});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (12 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| \text{ [дБ]} \cdot \ln(10)/20));$$

от 0,1 до 18 ГГц:

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,038 + 0,014 \cdot (|S_{xx}| \text{ [отн. ед.] } + |S_{yy}| \text{ [отн. ед.]}) + 0,028 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-0,028 \cdot |S_{yx}| \text{ [дБ]}});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (0,7 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| \text{ [дБ]} \cdot \ln(10)/20));$$

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,038 + 0,014 \cdot (|S_{xx}| \text{ [отн. ед.] } + |S_{yy}| \text{ [отн. ед.]}) + 0,033 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-0,028 \cdot |S_{yx}| \text{ [дБ]}});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (2,1 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| \text{ [дБ]} \cdot \ln(10)/20));$$

для НКМВ

$$\Delta|S_{yx}| = \pm 20 \cdot \lg(1,0140 + 0,0140 \cdot (|S_{xx}| \text{ [отн. ед.] } + |S_{yy}| \text{ [отн. ед.]}) + 0,0025 \cdot 10^{-0,0205 \cdot |S_{yx}| \text{ [дБ]}});$$

$$\Delta\Phi_{yx} = \pm (0,55 + (180/\pi) \cdot \arcsin(|\Delta|S_{yx}| \text{ [дБ]} \cdot \ln(10)/20));$$

где $|S_{xx}|$ или $|S_{yy}|$ – измеренные на АЦ значения модулей S-параметров соответственно $|S_{11}|$ и $|S_{22}|$ или наоборот, отн. ед.; так же $|S_{yx}|$ и $|S_{xy}|$ – модули $|S_{21}|$ и $|S_{12}|$.

2) $f_{\text{н}}^{\text{min}}$, $f_{\text{в}}^{\text{max}}$ нижняя и верхняя рабочие частоты для прямоугольных волноводов. Значения погрешностей для НКМВ даны только в диапазонах рабочих частот от $f_{\text{н}}^{\text{min}}$ до $f_{\text{в}}^{\text{max}}$ соответствующих прямоугольных волноводов.

Таблица 4 – Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений КШ (для ИУ с КСВН не более 1,7) в диапазоне от 0,1 до 26,5 ГГц, ИОШТ генератора шума (ГШ) 15 дБ в зависимости от пределов погрешности (ПГ) ИОШТ ГШ

Наборы мер	Пределы погрешности ИОШТ ГШ, дБ	ΔF , дБ
НКММ	$\pm 0,13$	от -0,27 до +0,26
	$\pm 0,40$	от -0,50 до +0,45
ЭК	$\pm 0,13$	от -0,31 до +0,29
	$\pm 0,40$	от -0,52 до +0,47
НКМВ	$\pm 0,13$	от -0,29 до +0,27
	$\pm 0,40$	от -0,51 до +0,45

П р и м е ч а н и е – Указанные пределы погрешности ΔF получены для конкретных значений пределов погрешности ИОШТ ГШ, используемого при измерениях КШ исследуемого устройства, и представляют собой доверительные границы НСП (для вероятности 0,95), рассчитанные согласно МИ 2083-90; для других значений пределов погрешности ИОШТ ГШ значения ΔF следует пересчитывать. Пределы ΔF справедливы после проведения пользовательской калибровки коэффициента шума, без учета потери ее актуальности с течением времени.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При проведении поверки следует выполнить операции, указанные в таблице 5.

Таблица 5 – Операции поверки

Наименование операции	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	да	да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	да	да	8
Проверка программного обеспечения (далее – ПО)	да	да	9
Определение присоединительных размеров соединителей измерительных портов	да	да	10.1
Определение среднего уровня собственного шума приемников	да	да	10.2
Определение среднеквадратического значения шумов измерительной трассы при измерении модуля коэффициента передачи и коэффициента отражения, при выходной мощности 0 дБ/мВт и полосе фильтра ПЧ 1 кГц	да	да	10.3
Определение диапазона ослаблений аттенюаторов измерительных приемников и абсолютной погрешности установки величины ослабления	да	да	10.4
Определение диапазона рабочих частот и относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	да	да	10.5
Определение диапазона установки уровня выходной мощности, абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности и абсолютной погрешности измерения уровня входной мощности	да	да	10.6
Определение диапазона измерений модуля коэффициента отражения и абсолютной погрешности измерения модуля и фазы коэффициента отражения	да	да	10.7
Определение диапазона измерений модуля коэффициента передачи и абсолютной погрешности измерения модуля и фазы коэффициента передачи	да	да	10.8
Определение КСВН входа порта 2 при измерении коэффициента шума в диапазоне от 0,1 до 26,5 ГГц	да	да	10.9
Определение диапазона суммы $S_0 = (K_{Ш} [дБ] + S_{21} [дБ])$ исследуемого устройства (ИУ), при $ S_{21} \geq 4,5$ дБ	да	да	10.10

Продолжение таблицы 5

Наименование операции	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Определение абсолютной погрешности измерения КИШ (для ИУ с КСВН не более 1,7) в диапазоне от 0,1 до 26,5 ГГц, ИОШТ генератора шума (ГШ) 15 дБ в зависимости от пределов погрешности (ПГ) ИОШТ ГШ	да	да	10.11

2.2 При получении отрицательных результатов по любому пункту таблицы 5 поверяемый АЦ бракуется и направляется в ремонт.

2.3 Допускается проводить периодическую поверку в ограниченной полосе рабочего диапазона частот, которые используются при эксплуатации по соответствующим пунктам настоящей методики поверки. Данные ограничения должны быть зафиксированы при оформлении результатов поверки.

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие климатические условия (если не оговорено иное):

- температура окружающего воздуха от плюс 15°С до плюс 35°С;
- относительная влажность окружающего воздуха при температуре плюс 25 °С не более 80 %;
- атмосферное давление от 537 до 800 мм рт. ст.;
- напряжение питания от 207 до 253 В;
- частота питающей сети от 49 до 51 Гц.

3.2 Проводить поверку АЦ необходимо при отсутствии резких изменений температуры окружающего воздуха (не более $\pm 2^{\circ}\text{C}$ в течение каждой проверки). Для исключения сбоев в работе, измерения необходимо производить при отсутствии резких перепадов напряжения питания сети, вызываемых включением и выключением мощных потребителей электроэнергии и мощных импульсных помех.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1 Поверка должна осуществляться лицами со средним или высшим техническим образованием, аттестованными в качестве поверителей в области радиотехнических измерений в установленном порядке и имеющими квалификационную группу электробезопасности не ниже второй.

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен предварительно ознакомиться с документом ЖНКЮ.468166.032 РЭ. «Анализатор цепей векторный Р4226А. Руководство по эксплуатации» (далее – ЖНКЮ.468166.032 РЭ).

4.3 Поверка осуществляется одним специалистом.

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 Рекомендуемые средства поверки, в том числе рабочие эталоны и средства измерений, приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень средств поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
10.1 Определение присоединительных размеров соединителей измерительных портов	Средства измерений присоединительных размеров соединителей в коаксиальных волноводах (трактах) 7,0/3,04 мм (типы III и N), 3,5/1,52 мм (типы IX и 3,5 мм) с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений присоединительных размеров $\pm 0,02$ мм	Комплекты для измерений соединителей коаксиальных КИПР, рег. № 68805-17: КИПР-01Р-01; КИПР-11Р-11; КИПР-03Р-03; КИПР-13Р-13.
10.2 Определение среднего уровня собственного шума приемников	Нагрузки согласованные (НС): - КСВН не более 1,15	Наборы калибровочных мер НКММ, рег. № 63453-16: - тип соединителей: тип 3,5 мм (НКММ-13-13Р).
10.3 Определение среднеквадратического значения шумов измерительной трассы при измерении модуля коэффициента передачи и коэффициента отражения, при выходной мощности 0 дБ/мВт и полосе фильтра ПЧ 1 кГц	Нагрузки короткозамкнутые с пределами допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения $\pm 0,014$ и $\pm 1,8$ градуса	Наборы калибровочных мер НКММ, рег. № 63453-16: - тип соединителей: тип 3,5 мм (НКММ-13-13Р).
10.5 Определение диапазона рабочих частот и относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	Частотомер: - диапазон частот от 0,3 МГц до 26500 МГц; - относительная погрешность по частоте кварцевого генератора за один год $\pm 5 \cdot 10^{-7}$	Частотомер электронно-счетный ЧЗ-66, рег. № 9273-85.
10.6 Определение диапазона установки уровня выходной мощности, абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности и абсолютной погрешности измерения уровня входной мощности	Ваттметр: - диапазон частот от 300 кГц до 26500 МГц; - диапазон измерений мощности от -60 до 20 дБм; - пределы относительной погрешности измерений мощности ± 8 %	Ваттметр поглощаемой мощности с блоком измерительным N1913A, рег. № 57386-14 и преобразователями измерительными E9304A-N18, рег. № 57387-14 и E4413A, рег. № 57163-14.

Продолжение таблицы 6

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
<p>10.7 Определение диапазона измерений модуля коэффициента отражения и абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения</p>	<p>Нагрузки короткозамкнутые (НКЗ) и холостого хода (НХХ):</p> <ul style="list-style-type: none"> - модуль коэффициента отражения (КО) нагрузок НКЗ и НХХ в диапазоне рабочих частот: не менее 0,98; - номинальная разность фаз и допускаемые пределы отклонения от номинальных значений разности фаз между НКЗ и НХХ: $(180 \pm 10)^\circ$; - пределы допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений модуля КО НКЗ и НХХ, используемых для калибровки АЦ, в диапазонах частот: св. 0 до 18 ГГц включ. $\pm 0,008$; св. 18 до 26,5 ГГц включ. $\pm 0,014$; - пределы допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений фазы КО НКЗ и НХХ, используемых для калибровки АЦ, в диапазонах частот: св. 0 до 18 ГГц включ. $\pm 1,0^\circ$; св. 18 до 26,5 ГГц включ. $\pm 1,8^\circ$. <p>Нагрузки согласованные (СН):</p> <ul style="list-style-type: none"> - модуль КО СН в диапазонах частот, не более: св. 0 до 18 ГГц включ. 0,04 св. 18 до 26,5 ГГц включ. 0,09; - пределы допускаемой абсолютной погрешности $\Delta КО$ определения действительных значений модуля КО СН в диапазонах частот: св. 0 до 18 ГГц включ. $\pm 0,005$ св. 18 до 26,5 ГГц включ. $\pm 0,008$; - пределы допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений фазы КО СН в диапазонах частот $\pm(1 + 60 \cdot \Delta КО / КО)$. - пределы допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений модуля КО 	<p>Для поверки АЦ в коаксиальном волноводе: Набор калибровочных мер НКММ рег. № 63453-16; Наборы мер НЗМ (рег. № 70750-18)</p>

Продолжение таблицы 6

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	<p>НКЗ в диапазонах частот: св. 0 до 18 ГГц включ. $\pm 0,008$ св. 18 до 26,5 ГГц включ. $\pm 0,014$; для прямоугольных волноводов $\pm 0,014$; - пределы допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений фазы КО НКЗ в диапазонах частот: св. 0 до 18 ГГц включ. $\pm 0,8^\circ$; св. 18 до 26,5 ГГц включ. $\pm 1,5^\circ$; для прямоугольных волноводов $\pm 1,0$;</p> <p>Нагрузки рассогласованные с номинальными значениями K_{cmU} (КСВН) 1,2 и 2,0: - пределы допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента отражения нагрузок рассогласованных КСВН 1,2 и 2,0: для коаксиального волновода $\pm(0,006...0,010)$; для прямоугольного волновода $\pm 0,005$; - пределы допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента отражения нагрузок рассогласованных КСВН 1,2 и 2,0: для коаксиального волновода $\pm(1,5...4,0)^\circ$; для прямоугольного волновода $\pm 2,8^\circ$</p>	<p>Для поверки АЦ в прямоугольном волноводе: нагрузки рассогласованные с номинальными значениями K_{cmU} (КСВН) 1,2 и 2,0 в прямоугольном волноводе с сечениями 72×34, 58×25, 48×24, 40×20, 35×15, 28,5×12,6, 23×10, 16×8, 11×5,5 мм из состава Государственного первичного эталона единиц комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц, рег. № ГЭТ 219-2024</p>
<p>10.8 Определение диапазона измерений модуля коэффициента передачи и абсолютной погрешностей измерений модуля и фазы коэффициента передачи</p>	<p>Нагрузки короткозамкнутые с пределами допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения $\pm 0,014$ и $\pm 1,8$ градуса</p> <p>Аттенюаторы с номинальными значениями ослабления 10 дБ, 20 дБ и 30 дБ (для коаксиального волновода) с пределами допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента передачи $\pm(0,050...0,135)$ дБ, пределами</p>	<p>Наборы калибровочных мер НКММ рег. № 63453-16: - тип соединителей: тип 3,5 мм (НКММ-13-13Р)</p> <p>Для поверки АЦ в коаксиальном волноводе: Набор мер НЗМ, рег. № 70750-18</p>

Продолжение таблицы 6

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	<p>допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента передачи $\pm(0,600\dots2,052)^\circ$;</p> <p>Аттенюатор с диапазоном значений ослабления от 0 до 70 дБ (для прямоугольного волновода) с пределами допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента передачи $\pm 0,14$ дБ, пределами допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента передачи $\pm 1,2^\circ$.</p> <p><u>Вспомогательное оборудование:</u> Переходы волноводно-коаксиальные с сечениями волноводного тракта 72×34, 58×25, 48×24, 40×20, 35×15, 28,5×12,6, 23×10, 16×8, 11×5,5 мм.</p>	<p>Для поверки АЦ в прямоугольном волноводе: аттенюатор ступенчатый программируемый 84905М, рег. № 60239-15; аттенюатор ступенчатый программируемый 84908М, рег. № 60239-15.</p> <p>Переходы волноводно-коаксиальные с сечениями волноводного тракта 72×34, 58×25, 48×24, 40×20, 35×15, 28,5×12,6, 23×10, 16×8, 11×5,5 мм из состава Государственного первичного эталона единиц комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц, рег. № ГЭТ 219-2024.</p>

Продолжение таблицы 6

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
10.9 Определение КСВН входа порта 2 при измерении КШ в диапазоне от 0,1 до 26,5 ГГц	Нагрузки согласованные (НС): - КСВН не более 1,15.	Наборы калибровочных мер НКММ, рег. № 63453-16: - тип соединителей: тип 3,5 мм (НКММ-13-13Р)
10.10 Определение диапазона суммы $S_0 = (КШ [дБ] + S_{21} [дБ])$ исследуемого устройства (ИУ), при $ S_{21} \geq 4,5$ дБ	Аттенюаторы с номинальными значения ослабления 10 дБ, 20 дБ и 30 дБ (для коаксиального волновода) с пределами допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента передачи $\pm(0,050...0,135)$ дБ, пределами допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента передачи $\pm(0,600...2,052)^\circ$;	Для поверки АЦ в коаксиальном волноводе: Набор мер НЗМ, рег. № 70750-18
10.11 Определение абсолютной погрешности измерения КШ (для ИУ с КСВН не более 1,7) в диапазоне от 0,1 до 26,5 ГГц, ИОШТ генератора шума (ГШ) 15 дБ в зависимости от пределов погрешности (ПГ) ИОШТ ГШ	Аттенюатор с диапазоном значений ослабления от 0 до 70 дБ (для прямоугольного волновода) с пределами допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента передачи $\pm 0,14$ дБ, пределами допускаемой абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента передачи $\pm 1,2^\circ$. <u>Вспомогательное оборудование:</u> Переходы волноводно-коаксиальные с сечениями волноводного тракта 72×34, 58×25, 48×24, 40×20, 35×15, 28,5×12,6, 23×10, 16×8, 11×5,5 мм.	Для поверки АЦ в прямоугольном волноводе: аттенюатор ступенчатый программируемый 84905М, рег. № 60239-15; аттенюатор ступенчатый программируемый 84908М, рег. № 60239-15. Переходы волноводно-коаксиальные с сечениями волноводного тракта 72×34, 58×25, 48×24, 40×20, 35×15, 28,5×12,6, 23×10, 16×8, 11×5,5 мм из состава Государственного первичного эталона единиц комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц (рег. № ГЭТ 219-2024).

Продолжение таблицы 6

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	Генератор шума с номинальным значением избыточной относительной шумовой температуры (ИОШТ) 15 дБ	Генератор шума 346С, рег. № 29243-05. Вольтметр универсальный В7-78/1, рег. № 31773-06. Мера напряжения и тока Е3641А, рег. № 26951-04
10.2 – 10.11	Измеритель влажности и температуры в диапазоне температур от +10°С до +35°С, с диапазоном измерений относительной влажности, от 0 до 99 %, с диапазоном измерений абсолютного давления от 840 до 1060 гПа	Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7, рег. № 15500-07
10.2 – 10.11	Персональный компьютер (ПК) с минимальными требованиями: - операционная система Windows®7/8/10/11, AstraLinuxCE 2.12.45, UbuntuLTS 22.04; - двухъядерный процессор x86 или x64 с тактовой частотой 2,4 ГГц; - наличие адаптера локальной сети – Ethernet 100 Мбит/с; - встроенный графический адаптер серии Intel® HDGraphics 4000, либо дискретный с объёмом видеопамяти 512 МБ; - оперативная память 2 ГБ; - разрешение экрана 1280× 720; - наличие клавиатуры и мыши, либо устройство сенсорного ввода; - 80 МБ свободного места на жёстком диске	

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 ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки АЦ необходимо соблюдать «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» и правила охраны труда.

6.2 К проведению поверки допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности на рабочем месте, освоившие работу с АЦ и применяемыми средствами поверки, изучившие настоящую методику.

7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Провести визуальный контроль чистоты всех соединителей поверяемого АЦ, включая наборы калибровочных мер, калибратор электронный, кабели СВЧ и перемычки. В случае обнаружения посторонних частиц провести чистку соединителей.

Провести визуальный контроль целостности кабелей СВЧ, перемычек, кабеля

питания и кабеля Ethernet.

Проверить отсутствие механических повреждений, шумов внутри корпуса, обусловленных наличием незакрепленных деталей, следов коррозии металлических деталей и следов воздействия жидкостей или агрессивных паров, целостность лакокрасочных покрытий, сохранность маркировки и пломб как АЦ, так и элементов комплекта поставки.

Примечание – Под механическими повреждениями следует понимать глубокие царапины, деформации на рабочих поверхностях центрального или внешнего проводников соединителей, вмятины на корпусе АЦ, а также другие повреждения, непосредственно влияющие на технические характеристики.

7.2 Результаты выполнения операции считать положительными, если:

- кабели СВЧ, перемычки, кабель питания и кабель Ethernet не имеют повреждений;
- отсутствуют механические повреждения на соединителях и корпусе поверяемого АЦ и всех элементов из его комплекта;
- отсутствуют шумы внутри корпуса, обусловленные наличием незакрепленных деталей;
- отсутствуют следы коррозии металлических деталей и следы воздействия жидкостей или агрессивных паров;
- лакокрасочные покрытия не повреждены;
- маркировка, нанесенная на поверяемый АЦ и все элементы из его комплекта, разборчива;
- пломбы не нарушены.

8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Порядок установки АЦ на рабочее место, включения, установки программного обеспечения, подключения к ПК, управления и дополнительная информация приведены в руководстве по эксплуатации: Анализаторы цепей векторные P4226A. Руководство по эксплуатации ЖНКЮ.468166.032 РЭ.

8.2 Убедиться в выполнении условий проведения поверки.

8.3 Выдержать АЦ в выключенном состоянии в условиях проведения поверки не менее двух часов, если он находился в отличных от них условиях.

8.4 Осуществить прогрев АЦ согласно РЭ.

8.5 Выдержать средства поверки во включенном состоянии в течение времени, указанного в их руководствах по эксплуатации.

8.6 Подключить АЦ к ПК непосредственно или через оборудование локальной вычислительной сети в соответствии с сетевыми настройками.

8.7 Установить программное обеспечение «Graphit P4M» (далее – ПО) с цифрового носителя из состава поверяемого АЦ.

8.8 Запустить ПО (Пуск \ Graphit P4M 2.6.xx\ Graphit P4M); произвести подключение к поверяемому АЦ в соответствии с его IP-адресом (адрес по умолчанию: 169.254.0.254).

8.9 Подключить к портам 1 и 2 АЦ нагрузки согласованные из набора калибровочных мер НКММ, при необходимости использовать переходы коаксиальные из состава набора калибровочных мер (далее – переходы).

Примечание – При сочленении коаксиальных соединителей для затягивания следует использовать ключи тарированные и поддерживающие (из комплекта поставки АЦ).

8.10 Восстановить начальные параметры АЦ, запустить процесс измерений.

Примечание – Если в течение измерений появится сообщение об ошибке, то необходимо закрыть ПО, выключить поверяемый АЦ, проверить надежность подключения кабеля Ethernet. Через одну минуту произвести повторное включение.

8.11 Установить начальную частоту 1 ГГц, количество точек 1001, выходную мощность минус 20 дБ/мВт, полосу пропускания фильтра ПЧ 1 кГц. Убедиться в корректной реакции ПО на манипуляции с органами управления. Восстановить начальные параметры АЦ. Запустить процесс измерений.

8.12 Остановить процесс измерений. Проверить, что процесс измерений остановился. Отсоединить нагрузки и переходы от портов 1 и 2 АЦ.

8.13 Определить стабильность характеристик кабелей СВЧ в следующей последовательности.

8.13.1 При проверке к кабелю СВЧ подключают нагрузку короткозамкнутую из состава набора калибровочных мер НКММ и производят измерение модуля и фазы КО при изгибе кабеля СВЧ. Проверка выполняется поочередно для всех кабелей, входящих в состав поверяемого АЦ.

8.13.2 Восстановить начальные параметры АЦ, начальную частоту 100 МГц, полосу пропускания фильтра ПЧ 1 кГц. Удалить все трассы, кроме S_{11} . Начать процесс измерений.

8.13.3 Подключить к порту 1 АЦ один из кабелей СВЧ; к другому концу кабеля СВЧ подсоединить нагрузку короткозамкнутую.

8.13.4 Расположить кабель СВЧ перпендикулярно передней панели АЦ. Запомнить результат измерений (сохранить трассу в память).

Примечание – Кабель СВЧ рекомендуется размещать на поверхности стола. Если кабель слишком длинный и выходит за пределы стола, то допускается размещать его с изгибом.

8.13.5 Создать математическую трассу, выполняющую операцию деления измеряемых данных на запомненные (А/В). Выбрать формат отображения математической трассы «Ампл лог (дБ)».

8.13.6 Установить для математической трассы опорный уровень 0 дБ, масштаб 0,1 дБ.

8.13.7 Скрыть отображение измерительной трассы и трассы памяти, оставив отображение только математической трассы.

8.13.8 Обновить данные трассы памяти.

8.13.9 Определить с помощью маркеров максимальные отклонения модуля КО в диапазоне рабочих частот АЦ:

при изгибе кабеля и возврате в исходное состояние (изгиб в произвольную сторону, диаметр изгиба приблизительно равен 12 см);

при изгибе кабеля на 90° в любую сторону, точка изгиба – середина кабеля;

при изгибе кабеля приблизительно на 360° в любую сторону, точка изгиба – середина кабеля.

Примечание – При изгибе не допускать поперечного скручивания кабеля. Для кабелей СВЧ длиной менее 1 м участки длиной приблизительно 5 см после несгибаемых частей при сворачивании кабеля должны сохраняться прямыми, при этом оборачивать кабель допускается менее чем на 360° . Перед каждым видом изгиба кабеля СВЧ производить обновление данных трассы памяти.

8.13.10 Для математической трассы выбрать формат отображения «Фаза (°)».

8.13.11 Установить для математической трассы опорный уровень 0°, масштаб 1°.

8.13.12 Обновить данные трассы памяти.

8.13.13 Определить с помощью маркеров максимальные отклонения фазы КО в диапазоне рабочих частот АЦ:

при изгибе кабеля и возврате в исходное состояние (изгиб в произвольную сторону, диаметр изгиба приблизительно равен 12 см);

при изгибе кабеля на 90° в любую сторону, точка изгиба – середина кабеля;

при изгибе кабеля на 360° в любую сторону, точка изгиба – середина кабеля.

8.13.14 Результаты опробования считать положительными, если:

– ПО загружается, АЦ корректно реагирует на манипуляции с органами управления, в течение измерений не появляются сообщения об ошибках;

– максимальные значения отклонений модуля КО при изгибе кабеля и возврате в исходное состояние не превышают 0,15 дБ в диапазоне частот до 13,5 ГГц и 0,20 дБ – свыше 13,5 ГГц;

– максимальные значения отклонений фазы КО кабелей при изгибе кабеля и возврате в исходное состояние не превышают 3° в диапазоне частот до 13,5 ГГц и 5° – свыше 13,5 ГГц;

– максимальные значения отклонений модуля КО при изгибе кабеля на 90° не превышают 0,25 дБ в диапазоне частот до 13,5 ГГц и 0,35 дБ – свыше 13,5 ГГц;

– максимальные значения отклонений фазы КО при изгибе кабеля на 90° не превышают 8° в диапазоне частот до 13,5 ГГц и 10° – свыше 13,5 ГГц;

– максимальные значения отклонений модуля КО при изгибе кабеля на 360° не превышают 0,25 дБ в диапазоне частот до 13,5 ГГц и 0,45 дБ – свыше 13,5 ГГц;

– максимальные значения отклонений фазы КО при изгибе кабеля на 360° не превышают 10° в диапазоне частот до 13,5 ГГц и 20° – свыше 13,5 ГГц.

9 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

9.1 Проверка проводится для подтверждения соответствия версии программного обеспечения.

9.2 Запустить ПО «Graphit 2.6.xx»: (Пуск \ Graphit P4M 2.6.xx\ Graphit P4M); произвести подключение к АЦ в соответствии с его IP-адресом (IP-адрес по умолчанию: 169.254.0.254).

9.3 Выбрать в меню «Справка» пункт «О программе Graphit...». Проверить, что номер версии ПО, отображаемый в появившемся окне, имеет версию из диапазона от 2.6.33 до 2.6.99 включительно (рисунок 1). Закрыть окно «О программе Graphit...». По окончании проверки занести номер версии ПО в протокол проверки.

9.4 Результаты проверки считать положительными, если наименование ПО совпадает с приведенным на рисунке 1, а версия ПО имеет номер из диапазона от 2.6.33 до 2.6.99 включительно.



Рисунок 1 – Окно с идентификационными данными ПО (номер версии выделен овалом)

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

10.1 Определение присоединительных размеров соединителей измерительных портов

10.1.1 Определение присоединительных размеров коаксиальных соединителей проводить с применением комплектов для измерения присоединительных размеров КИПР для используемых типов коаксиальных соединителей, в соответствии с указаниями эксплуатационной документации на них.

10.1.2 Проверке подлежит присоединительный размер «А» (рисунок 2) коаксиальных соединителей портов 1 и 2 АЦ (NMD 3,5 мм, усиленный соединитель), входов (выходов) ИЗМ, ГЕНЕРАТОР, ОПОРН и перемычек.

10.1.3 Проверке подлежит присоединительный размер «А» коаксиальных соединителей СВЧ элементов, входящие в состав поверяемого АЦ: кабелей СВЧ, калибратора электронного (при наличии), нагрузок из набора калибровочных мер, а также коаксиальных соединителей коаксиально-волноводных переходов из состава наборов НКМВ-У (при наличии в комплекте АЦ волноводных наборов прямоугольного сечения).

10.1.4 Результат поверки считать положительным, если присоединительный размер «А» соединителей:

- типа NMD 3,5 мм (вилка), NMD 3,5 мм (розетка), 3,5 мм (вилка), 3,5 мм (розетка), IX вар.3 (вилка), IX вар.3 (розетка) и SMA (вилка) находится в пределах 0,00-0,05 мм;
- перемычек находится в пределах 0,00-0,20 мм;
- типа III (розетка), N (розетка) находится в пределах 5,26^{-0,05} мм;
- типа III (вилка), N (вилка) находится в пределах 5,26^{+0,05} мм.

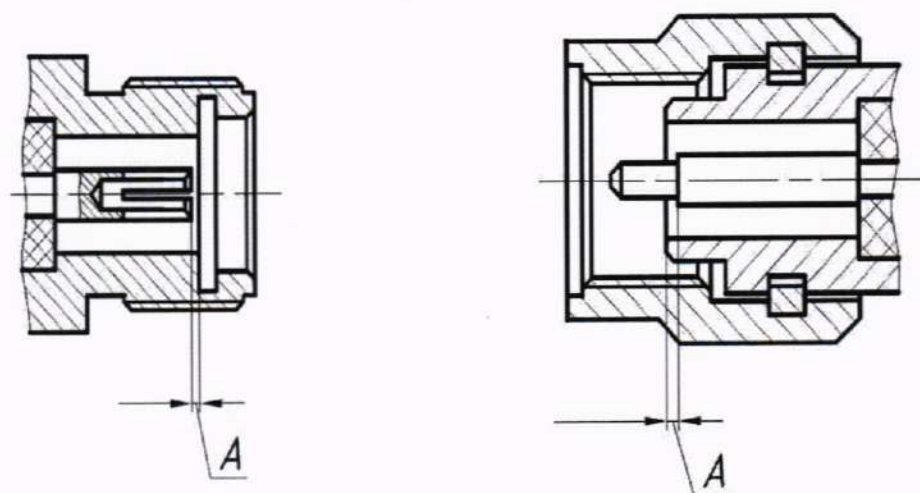


Рисунок 2 – Соединители тип IX вариант 3 или тип 3,5 мм

10.2 Определение среднего уровня собственного шума приемников

10.2.1 Восстановить начальные параметры АЦ, установить количество точек 1001, уровень выходной мощности минус 10 дБ/мВт, полосу пропускания фильтра ПЧ 1 кГц.

10.2.2 Подключить к портам 1 и 2 АЦ нагрузки согласованные из состава набора калибровочных мер (выбираются в соответствии с соединителями портов).

10.2.3 Создать измерительные трассы «b1 (2→1)» и «b2 (1→2)». Удалить другие трассы. Запустить процесс измерений.

10.2.4 Установить диапазон частот от 10 МГц до 50 МГц включительно.

10.2.5 Включить отображение статистических данных.

10.2.6 Включить усреднение 10 для каждой измерительной трассы на панели управления «Функции трасс». Выполнить автомасштабирование измерительных трасс.

10.2.7 При измерении следует определять среднее значение уровня собственного шума «b1 (2→1)» и «b2 (1→2)». За результат принимается значение параметра «Среднее», считанное из статистических данных. Зафиксировать результаты измерений.

10.2.8 Вычислить уровень собственного шума приемников, нормализованный к полосе 1 Гц, путем вычитания из значений, определенных в п.10.2.7, значения 30 дБ.

10.2.9 Повторить пункты 10.2.4–10.2.8 для следующих диапазонов частот:

- св. 50 МГц до 200 МГц включ;
- св. 200 МГц до 500 МГц включ.;
- св. 500 МГц до 1 ГГц включ.;
- св. 1 ГГц до 13,25 ГГц включ.;
- св. 13,25 ГГц до 26,5 ГГц включ.

10.2.10 Остановить процесс измерений.

10.2.11 Результат проверки считать положительным, если средний уровень собственного шума приемников, дБ/мВт в полосе 1 Гц, не более:

Для ПОРТ 1

- минус 80 в диапазоне частот от 10 МГц до 50 МГц включ.;
- минус 100 в диапазон частот св. 50 МГц до 200 МГц включ.;
- минус 120 в диапазоне частот св. 200 МГц до 500 МГц включ.;
- минус 125 в диапазоне частот св. 500 МГц до 1 ГГц включ.;
- минус 127 в диапазоне частот св. 1 ГГц до 13,25 ГГц включ.;
- минус 132 в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,5 ГГц включ.

Для ПОРТ 2

- минус 80 в диапазоне частот от 10 МГц до 50 МГц включ.;

- минус 100 в диапазоне частот св. 50 МГц до 200 МГц включ.;
- минус 120 в диапазоне частот св. 200 МГц до 500 МГц включ.;
- минус 125 в диапазоне частот св. 500 МГц до 1 ГГц включ.;
- минус 125 в диапазоне частот св. 1 ГГц до 13,25 ГГц включ.;
- минус 127 в диапазоне частот св. 13,25 ГГц до 26,5 ГГц включ.

10.3 Определение среднеквадратического значения шумов измерительной трассы при измерении модуля коэффициента передачи и коэффициента отражения при выходной мощности 0 дБ/мВт и полосе фильтра ПЧ 1 кГц

10.3.1 Восстановить начальные параметры АЦ, установить диапазон частот от 10 МГц до 100 МГц, количество точек 501, уровень выходной мощности 0 дБ/мВт, полосу пропускания фильтра ПЧ 1 кГц. Удалить все трассы, кроме S₁₁.

10.3.2 Подключить к порту 1 АЦ нагрузку короткозамкнутую из состава набора калибровочных мер. Начать процесс измерений.

10.3.3 Запомнить измерительную трассу S₁₁ (сохранить трассу в память).

10.3.4 Создать математическую трассу, выполняющую операцию деления измеряемых данных на запомненные (A/B). Выбрать формат отображения «Ампл лог (дБ)». Включить отображение статистических данных для математической трассы.

10.3.5 Скрыть отображение измерительной трассы и трассы памяти, оставив отображение только математической трассы.

10.3.6 Обновить данные трассы памяти спустя 15–20 секунд.

10.3.7 Провести измерения в течение 5–10 секунд и зафиксировать результат измерения среднего квадратического отклонения (СКО) математической трассы из статистических данных.

10.3.8 Установить диапазон частот от 100 МГц до 26,5 ГГц и повторить пункты 10.3.6 – 10.3.7.

10.3.9 Отключить нагрузку короткозамкнутую от порта 1 и подключить нагрузку короткозамкнутую к порту 2 АЦ.

10.3.10 Повторить пункты 10.3.1 – 10.3.8 для трассы S₂₂.

10.3.11 Отключить нагрузку короткозамкнутую от порта 2 АЦ.

10.3.12 Соединить порты 1 и 2 АЦ кабелем СВЧ из состава АЦ.

10.3.13 Повторить пункты 10.3.1 – 10.3.8 для измерительной трассы S₁₂, затем для S₂₁.

10.3.14 Результат поверки считать положительным, если значение СКО, определенное для трасс S₁₁, S₂₂, S₁₂, S₂₁, дБ, не более:

- в диапазоне частот от 10 МГц до 100 МГц включ. 0,01;
- в диапазоне частот св. 100 МГц до 26,5 ГГц включ. 0,004.

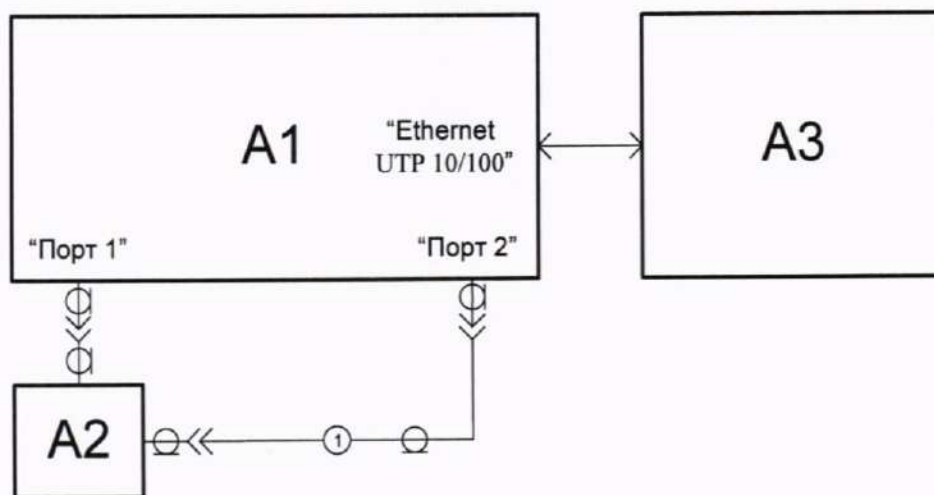
10.4 Определение диапазона ослаблений аттенуаторов измерительных приемников и абсолютной погрешности установки величины ослабления

10.4.1 Данная проверка выполняется только для аттенуаторов измерительных приемников портов 1 и 2 АЦ.

10.4.2 Восстановить начальные параметры АЦ, установить уровень выходной мощности 0 дБ/мВт, полосу пропускания фильтра ПЧ 100 Гц. Удалить трассы S₁₁, S₂₂ и S₁₂. Запустить процесс измерений.

10.4.3 Соединить порты АЦ кабелем СВЧ, используя коаксиальный переход, соответствующий типу портов АЦ, из набора калибровочных мер НКММ, в соответствии с рисунком 3.

10.4.4 Выбрать для трассы S₂₁ измеряемую величину «b2 (1→2)» для отображения мощности в измерительном приемнике 2 при направлении зондирования сигнала из порта 1 в порт 2. Выполнить автомасштабирование измерительной трассы.



A1 – АЦ; А2 – коаксиальный переход розетка – розетка А3 – ПК;
1 – кабель СВЧ из состава поверяемого АЦ

Рисунок 3 – Проверка диапазона ослаблений аттенуаторов

10.4.5 Сохранить результат измерений. Создать математическую трассу, выполняющую операцию деления измеряемых данных на сохраненные (A/B).

10.4.6 В панели управления «Сервис» установить переключатель «компенсация аттенуаторов» в положение выключено.

10.4.7 Скрыть отображение измерительной трассы и трассы памяти, оставив отображение только математической трассы.

10.4.8 Установить ослабление аттенуатора приемника 2 равным 10 дБ.

10.4.9 Проверить, что изменение ослабления аттенуатора в установленном диапазоне частот находится в пределах $\pm 2,0$ дБ от номинального значения ослабления аттенуатора.

10.4.10 Повторить пункты 10.4.8 – 10.4.9, поочередно устанавливая ослабление аттенуатора приемника порта 2 равным 20 и 30 дБ.

10.4.11 Отобразить данные измерительной трассы и трассы памяти.

10.4.12 Выбрать для трассы «b2 (1→2)» измеряемую величину «b1 (2→1)» для отображения мощности в измерительном приемнике 1 при направлении зондирования сигнала из порта 2 в порт 1. Выполнить автомасштабирование измерительной трассы. Обновить данные трассы памяти. Для математической трассы выбрать измеряемую величину «b1 (2→1)» и операцию деления измеряемых данных на запомненные (A/B).

10.4.13 Скрыть отображение измерительной трассы и трассы памяти, оставив отображение только математической трассы.

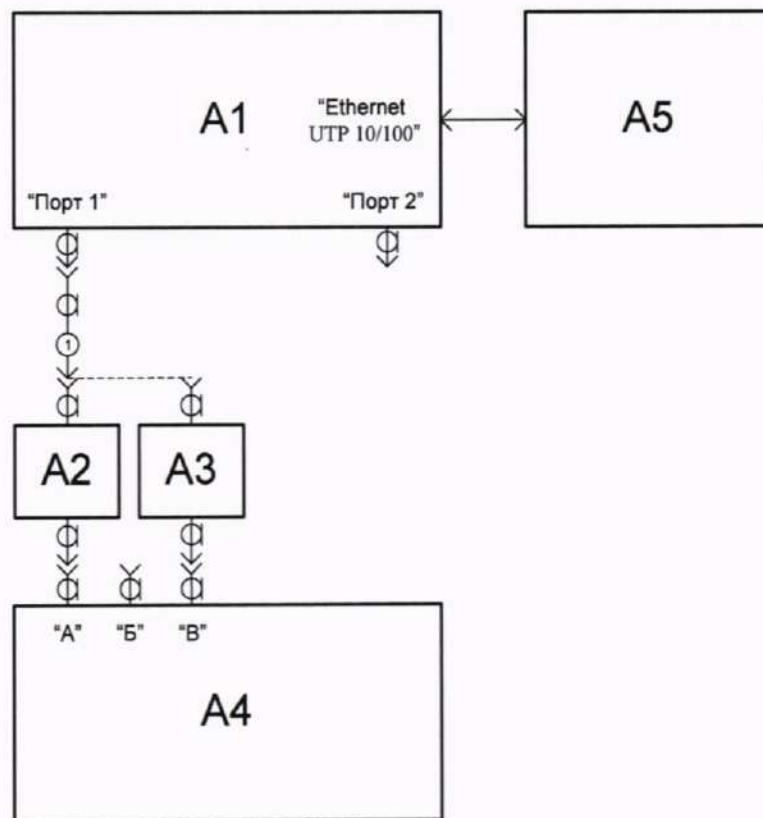
10.4.14 Повторить пункты 10.4.8 – 10.4.10, устанавливая ослабление аттенуатора приемника порта 1 равным 10, 20 и 30 дБ. Остановить процесс измерений.

10.4.15 Результат проверки считать положительным, если изменение ослабления при всех переключениях аттенуаторов находится в пределах $\pm 2,0$ дБ от номинального значения ослабления аттенуатора.

10.5 Определение диапазона рабочих частот и относительной погрешности установки частоты выходного сигнала

10.5.1 Определение диапазона рабочих частот и относительной погрешности установки частоты источника сигнала проводить в следующей последовательности.

10.5.2 Собрать схему измерений, приведенную на рисунке 4 для измерений в коаксиальном тракте.



«1» – кабель из состава поверяемого АЦ;

A1 – АЦ;

A2 – при измерении в коаксиальном тракте коаксиальный переход BNC вилка – 3,5 мм, при измерении в прямоугольном волноводном тракте коаксиально-волноводный переход с сечением волноводного тракта в соответствии с таблицей 7;

A3 – при измерении в коаксиальном тракте переход тип I вилка – 3,5 мм розетка, при измерении в прямоугольном волноводном тракте коаксиально-волноводный переход с сечением волноводного тракта в соответствии с таблицей 7;

A4 – частотомер универсальный;

A5 – ПК.

Рисунок 4 – Проверка диапазона рабочих частот и относительной погрешности установки частоты

10.5.3 Подготовить к работе частотомер универсальный (далее – частотомер) в соответствии с руководством по эксплуатации на него. Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 4.

10.5.4 Восстановить начальные параметры АЦ. Удалить все трассы, кроме S₁₁. Запустить процесс измерений.

10.5.5 Установить количество точек 1, значение фиксированной частоты $f_{уст}$ 10 МГц, уровень выходной мощности 0 дБ/мВт.

10.5.6 Измерить выходную частоту АЦ $f_{изм}$ в Гц с помощью частотомера. Зафиксировать результат измерений.

10.5.7 Повторить действия по пунктам 10.5.5 и 10.5.6 для частот 0,1, 6, 13,5, 24 и 26,5 ГГц. Остановить процесс измерений.

10.5.8 Повторить операции п.п. 10.5.2 – 10.5.6 для прямоугольных волноводных трактов, при наличии, при значениях начальной и конечной частот диапазонов в соответствии с таблицей 7.

10.5.9 Рассчитать относительную погрешность установки частоты источника сигнала δf по формуле:

$$\delta f = (f_{изм} - f_{уст}) / f_{уст}, \quad (1)$$

где $f_{изм}$ – измеренное значение частоты, Гц;
 $f_{уст}$ – установленное значение частоты, Гц.

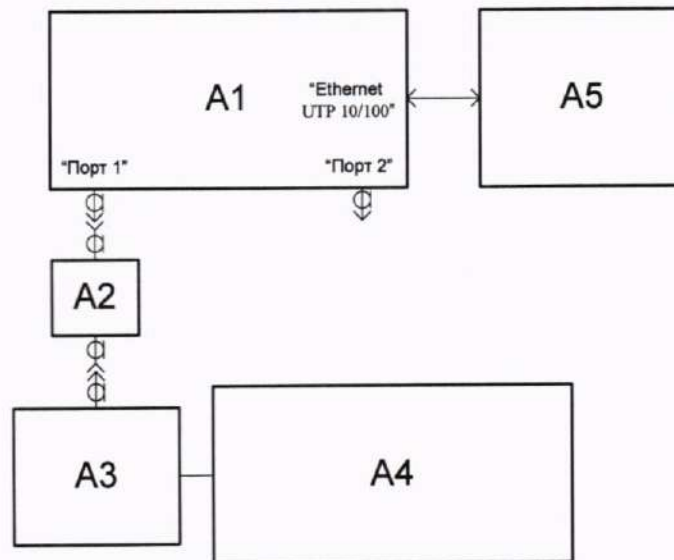
10.5.10 Результат поверки считать положительным, если относительная погрешность установки частоты источника сигнала δf находится в пределах $\pm 2 \cdot 10^{-6}$, диапазон рабочих частот соответствует значениям, приведенным в таблице 7.

Таблица 7 – Диапазон рабочих частот

Тип тракта	Диапазон рабочих частот, МГц
Коаксиальный волновод NMD 3,5 мм	от 10 до 26500
Прямоугольный волновод 72×34 мм	от 2590 до 3940
Прямоугольный волновод 58×25 мм	от 3200 до 4800
Прямоугольный волновод 48×24 мм	от 3940 до 5640
Прямоугольный волновод 40×20 мм	от 4800 до 6850
Прямоугольный волновод 35×15 мм	от 5640 до 8150
Прямоугольный волновод 28,5×12,6 мм	от 6850 до 9930
Прямоугольный волновод 23×10 мм	от 8150 до 12050
Прямоугольный волновод 16×8 мм	от 12050 до 17440
Прямоугольный волновод 11×5,5 мм	от 17440 до 25950

10.6 Определение диапазона установки уровня выходной мощности, абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности и абсолютной погрешности измерения уровня входной мощности

10.6.1 Определение абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности проводить по схеме, приведенной на рисунке 5.



A1 – АЦ; A2 – переход розетка – розетка из набора калибровочных мер;
 A3 – преобразователь измерительный ваттметра; A4 – блок измерительный ваттметра;
 5 – ПК

Рисунок 5 – Проверка абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности

10.6.2 Подготовить к работе ваттметр в соответствии с руководством по эксплуатации на него.

П р и м е ч а н и е – Тип измерительного преобразователя ваттметра выбирается в соответствии с типом коаксиального соединителя порта АЦ и рабочей частоты, на которой проводятся измерения. При необходимости, допускается применение коаксиальных переходов с нормированным коэффициентом передачи в диапазоне рабочих частот.

10.6.3 Восстановить начальные параметры АЦ. Удалить все трассы, кроме S₁₁. Запустить процесс измерений. Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 5. Установить количество точек 1.

10.6.4 Установить значение фиксированной частоты 10 МГц.

10.6.5 Установить уровень выходной мощности $P_{уст}$ равный 10 дБ/мВт.

10.6.6 Измерить уровень мощности $P_{изм}$ в дБ/мВт на выходе порта 1 с помощью ваттметра. Зафиксировать результат измерений.

10.6.7 Повторить 10.6.5–10.6.6 для мощности АЦ $P_{уст}$ равной 0, минус 10, минус 20 и минус 50 дБ/мВт.

10.6.8 Повторить 10.6.4–10.6.7 для частот 0,1, 6, 13,5, 24 и 26,5 ГГц.

10.6.9 Восстановить начальные параметры АЦ. Удалить все трассы, кроме S₂₂. Установить количество точек 1.

10.6.10 Подключить преобразователь измерительный ваттметра к порту 2 АЦ.

10.6.11 Повторить для порта 2 пункты 10.6.4–10.6.8, где для частот 10 МГц и 0,1 ГГц устанавливать максимальное значение $P_{уст}$ 3 дБ/мВт, а для частоты 26,5 ГГц устанавливать 7 дБ/мВт.

10.6.12 Рассчитать значения абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности ΔP по формуле (2):

$$\Delta P = P_{изм} - P_{уст}. \quad (2)$$

10.6.13 Результат поверки считать положительным, если абсолютная погрешность установки уровня выходной мощности ΔP АЦ не более:

±1,0 дБ при уровне выходной мощности от минус 20 дБ/мВт включ. до 10 дБ/мВт;

$\pm 1,5$ дБ при уровне выходной мощности менее минус 20 дБ/мВт.

10.6.14 При определении абсолютной погрешности измерения уровня выходной мощности приемным каналом АЦ в диапазоне частот, подключить кабель СВЧ первым концом к измерительному порту 1. К свободному второму концу кабеля СВЧ подключить измерительный преобразователь ваттметра через коаксиальный переход.

10.6.15 Восстановить начальные параметры АЦ. Удалить все трассы, кроме S_{11} . Установить количество точек 1. Повторить пункты 10.6.4–10.6.11, измеряя ваттметром уровень мощности $P_{1\text{изм}}$ в дБ/мВт на втором конце кабеля СВЧ, подключенного первым концом к порту 1 АЦ, установив полосу пропускания фильтра ПЧ 100 Гц.

10.6.16 Отключить измерительный преобразователь ваттметра от второго конца кабеля СВЧ, и подключить последний к порту 2 АЦ.

10.6.17 Восстановить начальные параметры АЦ, установить параметры: центральная частота 10 МГц, полоса 0 МГц, количество точек 1, полосу пропускания фильтра ПЧ 100 Гц. Удалить все трассы, кроме S_{22} .

10.6.18 Выбрать для трассы S_{22} измеряемую величину «b2 (1→2)» для отображения мощности в измерительном приемнике 2 при направлении зондирования сигнала из порта 1 в порт 2.

10.6.19 Провести измерения уровня мощности в приемнике «b2 (1→2)» $P_{2\text{изм}}$ в дБ/мВт на частотах и для мощностей, указанных в пп. 10.6.5, 10.6.7 и 10.6.8; при этом для мощности минус 50 дБ/мВт полосу пропускания фильтра ПЧ устанавливать равной 10 Гц. При смене центральной частоты изменять параметр «центр». Зафиксировать результаты измерений.

10.6.20 Повторить пункты 10.6.14–10.6.19, подключив в пункте 10.6.14 первый конец кабеля СВЧ к измерительному порту 2, второй конец кабеля СВЧ к ваттметру, а затем в пункте 10.6.16 к измерительному порту 1 АЦ, и выбрав измеряемую величину «b1 (2→1)» в пунктах 10.6.18, 10.6.19; где для частот 10 МГц и 0,1 ГГц устанавливать максимальное значение $P_{\text{уст}}$ 3 дБ/мВт, а для частоты 26,5 ГГц устанавливать 7 дБ/мВт. Остановить процесс измерений.

10.6.21 Рассчитать значения абсолютной погрешности измерения уровня мощности в измерительных каналах АЦ по формуле (3):

$$\Delta P = P_{2\text{изм}} - P_{1\text{изм}}. \quad (3)$$

10.6.22 Результат поверки считать положительным, если в диапазоне установки уровня выходной мощности, приведенной в таблице 8, абсолютная погрешность установки уровня выходной мощности ΔP АЦ не более:

- $\pm 1,0$ дБ при уровне выходной мощности от минус 20 дБ/мВт включ. до 10 дБ/мВт;
- $\pm 1,5$ дБ при уровне выходной мощности менее минус 20 дБ/мВт.

Таблица 8 - Диапазон установки уровня выходной мощности

Диапазон установки уровня выходной мощности, дБ/мВт ¹⁾		Значение характеристик и
Для ПОРТ 1	- в диапазоне частот от 10,0 МГц до 26,5 МГц включ.	от -50 до 10
Для ПОРТ 2	- в диапазоне частот от 10 МГц до 100 МГц включ.	от -50 до 3
	- в диапазоне частот св. 100 МГц до 24 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 24,0 ГГц до 26,5 ГГц включ.	от -50 до 10 от -50 до 7

10.7 Определение диапазона измерений модуля коэффициента отражения и абсолютной погрешности измерения модуля и фазы коэффициента отражения

10.7.1 Подготовить следующие СИ в соответствии с их РЭ: калибратор электронный (если он входит в комплект поставки АЦ; далее по тексту – ЭК); для проверки в коаксиальном тракте – соответствующий набор калибровочных мер НКММ (который будет использоваться для калибровки АЦ), нагрузки короткозамкнутые из набора

калибровочных мер НКММ и набор мер НЗМ; для прямоугольных волноводов – набор калибровочных мер НКМВ-У (если он входит в комплект поставки), нагрузки короткозамкнутая и рассогласованные в тракте прямоугольного волновода. При применении АЦ для измерений в нескольких трактах данная проверка производится для каждого из них последовательно.

10.7.2 Определение абсолютных погрешностей измерений модуля и фазы коэффициента отражения (КО) выполняется (после выполнения калибровки АЦ) методом сравнения измеренных значений КО мер (нагрузок с номинальными значениями КСВН 1,2 (далее условно по тексту – «НР1»); 2,0 (далее условно по тексту – «НР3») и нагрузок короткозамкнутых (далее условно по тексту – «НКЗ»)) со значениями КО, полученными при аттестации (поверке) этих мер.

10.7.3 Калибровка АЦ проводится с помощью:

- ЭК из комплекта поставки АЦ (для коаксиального волновода);
 - набора калибровочных мер НКМВ-У из комплекта поставки АЦ (для прямоугольных волноводов, при этом возможна только двухпортовая калибровка);
 - набора калибровочных мер для коаксиального волновода.
- Измерения проводятся в следующей последовательности.

Примечания

1 В случае, если наборов калибровочных мер или ЭК в составе АЦ несколько (АЦ применяется для измерений в нескольких трактах), проверка выполняется после калибровки АЦ с каждым из них, поочередно. При проведении проверки в полуавтоматическом режиме согласно п. 10.7.16 для каждого набора необходимо заново выполнять все пункты указанного метода.

2 При наличии в составе АЦ двух кабелей СВЧ, их подключают к измерительным портам АЦ «Порт 1» и «Порт 2» и проводят двухпортовую калибровку АЦ. При наличии только одного кабеля СВЧ, его подключают к измерительному порту АЦ «Порт 1» и проводят двухпортовую калибровку АЦ. В коаксиальном тракте на кабель, подключенный к порту 1 АЦ, подсоединяют переход «розетка-вилка»; на кабель порта 2 АЦ (или непосредственно на порт 2 АЦ) подсоединяют переход «розетка-розетка» из калибровочного набора для возможности калибровки на «Проход».

3 При использовании ЭК, с соединителями «вилка-вилка» или «розетка-розетка», необходимо на его первый порт перед калибровкой подсоединить переход с соединителями «розетка-розетка» или «вилка-вилка» из его комплекта, для которого имеется соответствующий файл описания *.msk (если у этого перехода порты имеют однотипные соединители, то переход к ЭК подключается тем портом, у которого шлиц для поддерживающего ключа отсутствует).

10.7.4 Восстановить начальные параметры АЦ. Установить на АЦ полосу пропускания фильтра ПЧ 1 кГц, выходная мощность 0 дБ/мВт; частотный диапазон – в соответствии с диапазоном частот используемого набора калибровочных мер. Нижняя частота $f_{\text{н}}^{\text{min}}$ и верхняя частота $f_{\text{в}}^{\text{max}}$ не должны быть соответственно ниже и выше, приведенных в таблице 9. В случае, если граничные частоты, на которых аттестованы эталонные меры, не удовлетворяют указанным критериям, то за $f_{\text{н}}^{\text{min}}$ и $f_{\text{в}}^{\text{max}}$ принимают ближайшие к ним подходящие частоты аттестации. Количество точек установить таким, чтобы частоты, на которых проводятся измерения, совпадали с частотами аттестации эталонных мер (для исключения погрешности интерполяции между точками), при этом количество точек должно быть не менее 200 (для этого, как правило, достаточно установить количество точек $n = \{(f_{\text{в}}^{\text{max}}[\text{ГГц}] - f_{\text{н}}^{\text{min}}[\text{ГГц}]) \cdot 100 + 1\}$).

Таблица 9 – Граничные частоты

Тип тракта	Частота, ГГц	
	Нижняя частота $f_{\text{н}}^{\text{min}}$	Верхняя частота $f_{\text{в}}^{\text{max}}$
коаксиальный 3,5/1,52 мм	0,01	26,50
прямоугольный волновод сечением 72×34	2,59	3,94
прямоугольный волновод сечением 58×25 мм	3,2	4,8
прямоугольный волновод сечением 48×24 мм	3,94	5,64
прямоугольный волновод сечением 40×20 мм	4,8	6,85
прямоугольный волновод сечением 35×15 мм	5,64	8,15
прямоугольный волновод сечением 28,5×12,6 мм	6,85	9,93
прямоугольный волновод сечением 23×10 мм	8,15	12,05
прямоугольный волновод сечением 16×8 мм	12,05	17,44
прямоугольный волновод сечением 11×5,5 мм	17,44	25,95

10.7.5 Запустить процесс измерений. В главном меню ПО Graphit P4M выбрать пункты «Калибровка > Мастер калибровки ...».

10.7.6 При использовании ЭК на этапе «Метод калибровки» Мастера калибровки выбрать радиокнопку «Автоматическая (с электронным калибратором)», а при использовании набора калибровочных мер выбрать радиокнопку «Управляемая (по сценарию)». Нажать «Далее». В случае использования ЭК осуществить к нему подключение.

ВНИМАНИЕ: КАБЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ КАЛИБРОВКЕ И ИЗМЕРЕНИЯХ, ДОЛЖНЫ БЫТЬ ПО ВОЗМОЖНОСТИ МАКСИМАЛЬНО НЕПОДВИЖНЫ. ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КАБЕЛЕЙ ВО ВРЕМЯ КАЛИБРОВКИ И (ИЛИ) ИЗМЕРЕНИЯ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К ЗНАЧИТЕЛЬНЫМ ИСКАЖЕНИЯМ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ! ТАКЖЕ ПОСЛЕ ПОДСОЕДИНЕНИЯ КАБЕЛЕЙ К АЦ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ИХ ЛИШНИХ ИЗГИБОВ, НА СВОБОДНЫЙ СОЕДИНИТЕЛЬ КАБЕЛЕЙ РЕКОМЕНДУЕТСЯ ПОДКЛЮЧИТЬ ПЕРЕХОД И ДАЛЕЕ ПРИ КАЛИБРОВКЕ И ИЗМЕРЕНИЯХ ЕГО НЕ ОТСОЕДИНЯТЬ.

10.7.7 На этапе калибровки «Настройка конфигурации» в группе «Калибруемые параметры» выбрать «S (порты 1-2)». Выбрать соответствующие типы соединителей, наборы калибровочных мер. Для ЭК с соединителями «вилка-вилка» или «розетка-розетка», если отсутствует возможность выбрать типы соединителей ЭК, в группе «Конфигурация портов электронного калибратора» установить флажок «Использовать файл описания» и в появившемся окне выбрать файл *.mск с цифрового носителя из комплекта поставки ЭК, в имени которого имеется номер присоединенного к первому порту ЭК перехода. Нажать «Далее». При калибровке в коаксиальном тракте выбрать вариант калибровки – «Векторная калибровка SOLT», тип – «Двухпортовая (порт 1-2)». Флажки «Измерение на изоляцию» и «Неизвестный адаптер» (при наличии) должны быть сняты. При калибровке в прямоугольном волноводе выбрать вариант калибровки «Векторная калибровка TRL». Нажать «Далее». Выполнить дальнейшие шаги калибровки согласно указаниям Мастера калибровки и РЭ.

10.7.8 После выполнения калибровки удалить трассы S_{12} и S_{21} .

10.7.9 В программе Graphit P4M открыть, файл *.s2p или *.s1p (при наличии) с действительными значениями S-параметров нагрузок рассогласованных НР1, полученными по результатам поверки (аттестации) мер, для загрузки их трасс КО на экран ПК.

10.7.10 Подключить к «Порт 1» и «Порт 2» АЦ нагрузки НР1 для измерения их параметров. Для коаксиального волновода подключить нагрузки с соединителями вилка и

розетка к соединителям АЦ, в плоскости которых производилась калибровка.

Примечания

1 При проверке в прямоугольном волноводном тракте следует использовать волноводные нагрузки короткозамкнутую, согласованную и рассогласованные с сечением прямоугольного волновода, соответствующем применяемому набору калибровочных мер НКМВ-У. Производить измерение S-параметров волноводных нагрузок поочередно, последовательно подключая их к фланцам сначала со стороны «Порта 1», затем со стороны «Порт 2» АЦ.

2 Коаксиально-волноводные переходы с сечением 23×10 мм и больше непосредственно на порт АЦ присоединять не рекомендуется во избежание повреждения его соединителей. Подключение рекомендуется производить с использованием кабеля СВЧ из комплекта поставки.

10.7.11 Дождавшись окончания цикла измерения, запомнить измеренные КО S_{11i} и S_{22i} нагрузок с помощью трасс памяти, где i – номер частотной точки (далее в данном подразделе под S_{xx} понимается S_{11} и/или S_{22} , а индексы i для измеренных значений и их погрешностей будут опускаться). Выбрать для запомненных трасс S_{11i} , S_{22i} и загруженных трасс КО нагрузок рассогласованных формат отображения «Ампл лин [раз]». Выполнить автомасштабирование запомненных и загруженных трасс.

10.7.12 Определить значения абсолютных погрешностей измерения модуля КО $\Delta|S_{xx}^{ИЗМ}|$ (знаковые величины) в частотных точках, на которых аттестованы используемые меры, в отн. ед. по формуле (4). Зафиксировать полученные $\Delta|S_{xx}^{ИЗМ}|$.

$$\Delta|S_{xx}^{ИЗМ}| = |S_{xx}^{ИЗМ}| - |S_{xx}^0|, \quad (4)$$

где $|S_{xx}^{ИЗМ}|$ – измеренные (т.е. запомненные) значения модуля КО нагрузки, отн. ед.;

$|S_{xx}^0|$ – загруженные действительные значения модуля КО нагрузки (т.е. полученные по результатам аттестации меры), отн. ед.

Примечание – При отсутствии файла (*.slp или *.s2p) с действительными значениями S-параметров нагрузок, определить значения КО по трассам памяти с помощью маркеров в частотных точках аттестации мер и вычислить разницу между измеренными и действительными значениями КО из протокола поверки нагрузок. Минимальное допустимое количество частотных точек сравнения для прямоугольных волноводов – три, а для коаксиальных – десять; при этом обязательно проводится сравнение на f_n^{\min} и f_n^{\max} , а остальные точки должны быть по возможности равномерно распределены между ними.

10.7.13 Определить значения абсолютных погрешностей измерения фаз КО $\Delta\Phi_{xx}^{ИЗМ}$ в градусах (для чего предварительно выбрать формат отображения «Фаза [°]» для запомненных трасс $S_{xx}^{ИЗМ}$ и загруженных трасс S_{xx}^0 , и произвести автомасштабирование трасс) в частотных точках, на которых аттестованы используемые меры, по формуле (5) (последнее вычитаемое в (5), т.е. функция $\text{int}[\]$, учитывает переброс фазы при значениях фазы близких к $\pm 180^\circ$).

$$\Delta\Phi_{xx}^{ИЗМ} = \Phi_{xx}^{ИЗМ} - \Phi_{xx}^0 - \text{int}[(\Phi_{xx}^{ИЗМ} - \Phi_{xx}^0)/360] \cdot 360, \quad (5)$$

где $\Phi_{xx}^{ИЗМ}$ – фазы КО измеренных (т.е. запомненных) значений $S_{xx}^{ИЗМ}$ нагрузки, градусы;

Φ_{xx}^0 – фазы КО загруженных действительных значений S_{xx}^0 нагрузки (т.е.

полученных по результатам аттестации меры), градусы;

$\text{int}[x]$ – функция, возвращающая ближайшее целое от x^1).

Зафиксировать полученные результаты измерений $\Delta\Phi_{xx}^{\text{ИЗМ}}$.

10.7.14 Повторить пункты 10.7.9–10.7.13 для нагрузок НРЗ; а также нагрузок НС и НКЗ. Сохранить профиль измерений.

10.7.15 Рассчитать пределы абсолютных погрешностей измерения модуля и фазы КО, соответственно $\Delta|S_{xx}|$ и $\Delta\Phi_{xx}$, по формулам из таблицы 10.

Таблица 10 – Формулы для расчета пределов погрешности измерения КО

Наборы мер	Диапазон частот, ГГц	Формулы для определения пределов абсолютной погрешности $\Delta S_{xx} $ в отн. ед. и $\Delta\Phi_{xx}$ в градусах
НКММ	от 0,01 до 0,10 невл.	$\Delta S_{xx} = \pm(0,025 - 0,022 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} + 0,017 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} ^2);$ $\Delta\Phi_{xx} = \pm(1,1 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]}/ S_{xx}^{\text{ИЗМ}} \text{ [отн. ед.]}))$
	от 0,1 до 18 вкл.	$\Delta S_{xx} = \pm(0,0105 + 0,0065 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} + 0,009 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} ^2);$ $\Delta\Phi_{xx} = \pm(0,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]}/ S_{xx}^{\text{ИЗМ}} \text{ [отн. ед.]}))$
	свыше 18	$\Delta S_{xx} = \pm(0,014 + 0,007 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} + 0,011 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} ^2);$ $\Delta\Phi_{xx} = \pm(0,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]}/ S_{xx}^{\text{ИЗМ}} \text{ [отн. ед.]}))$
ЭК	от 0,01 до 0,10 невл.	$\Delta S_{xx} = \pm(0,028 + 0,144 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} - 0,090 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} ^2);$ $\Delta\Phi_{xx} = \pm(2,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]}/ S_{xx}^{\text{ИЗМ}} \text{ [отн. ед.]}))$
	от 0,1 до 18 вкл.	$\Delta S_{xx} = \pm(0,026 - 0,034 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} + 0,048 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} ^2);$ $\Delta\Phi_{xx} = \pm(3,3 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]}/ S_{xx}^{\text{ИЗМ}} \text{ [отн. ед.]}))$
	свыше 18	$\Delta S_{xx} = \pm(0,037 - 0,035 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} + 0,051 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} ^2);$ $\Delta\Phi_{xx} = \pm(4,3 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]}/ S_{xx}^{\text{ИЗМ}} \text{ [отн. ед.]}))$
НКМВ	Тракт: 16×8; 48×24; 58×25; 72×34; 23×10; 35×15; 28,5×12,6; 40×20	$\Delta S_{xx} = \pm(0,0089 + 0,0088 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} + 0,0087 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} ^2);$ $\Delta\Phi_{xx} = \pm(2 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]}/ S_{xx}^{\text{ИЗМ}} \text{ [отн. ед.]}))$
	11×5,5	$\Delta S_{xx} = \pm(0,0093 + 0,0092 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} + 0,0091 \cdot S_{xx}^{\text{ИЗМ}} ^2);$ $\Delta\Phi_{xx} = \pm(2 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{xx} \text{ [отн. ед.]}/ S_{xx}^{\text{ИЗМ}} \text{ [отн. ед.]}))$

10.7.16 Поверку в соответствии с п. 10.7 допускается проводить в полуавтоматическом режиме с помощью встроенного ПО в следующей последовательности.

¹⁾Например для $x = -8,9$, значение функции $\text{int}[-8,9] = -9$; в MS Excel 2007 эту роль выполняет функция «ОКРУГЛ(x;0)».

10.7.16.1 Выбрать в главном меню программного обеспечения Graphit «Управление», далее выбрать пункт «Поверка...».

10.7.16.2 В появившемся окне «Мастера поверки» выбрать на панели навигации слева пункт «Поверка векторного анализатора цепей» и далее в группе «Состав:» в поле со списком «Набор калибровочных мер:» выбрать набор, с которым будет проводиться проверка.

10.7.16.3 На панели навигации выбрать пункт проверки – «Абсолютная погрешность измерений КО».

10.7.16.4 Следуя указаниям мастера в текстовом поле «Порядок действий», выполнить проверку. По окончании проверки сохранить профиль измерений.

10.7.17 Результат поверки считать положительным, если в диапазоне измерений модуля коэффициента отражения от 0 до 1 $|\Delta|S_{xx}^{ИЗМ}||$ и $|\Delta\Phi_{xx}^{ИЗМ}|$ для всех использованных нагрузок (при калибровках с набором калибровочных мер коаксиального тракта, с ЭК и с набором мер волноводного тракта прямоугольного сечения), не превышают соответствующих значений $|\Delta|S_{xx}||$ и $|\Delta\Phi_{xx}|$.

10.8 Определение диапазона измерений модуля коэффициента передачи и абсолютной погрешности измерения модуля и фазы коэффициента передачи

10.8.1 Подготовить следующие СИ в соответствии с их РЭ: калибратор электронный (если он входит в комплект поставки АЦ; далее по тексту – ЭК); для проверки в коаксиальном тракте – соответствующий набор калибровочных мер НКММ (который будет использоваться для калибровки АЦ), набор мер НЗМ; для прямоугольных волноводов – набор калибровочных мер НКМВ-У (если он входит в комплект поставки) и аттенюаторы ступенчатые программируемые 84905М и 84908М (далее – аттенюатор, 84905М, 84908М) с переходами волноводно-коаксиальными (для измерений в волноводных трактах). При применении АЦ для измерений в нескольких трактах данная проверка производится для каждого из них последовательно.

10.8.2 Определение абсолютных погрешностей измерений модуля и фазы коэффициента передачи (КП) выполняется (после выполнения калибровки АЦ) методом сравнения измеренных значений модуля и фазы КП мер со значениями модуля и фазы КП, полученными при аттестации (поверке) этих мер. В коаксиальном тракте для проверки использовать аттенюаторы с номинальным значением ослабления 10 и 50 дБ (или сборку из аттенюаторов с номинальным ослаблением 20 и 30 дБ), а в волноводном тракте использовать аттенюаторы 84905М, 84908М с переходами волноводно-коаксиальными.

10.8.3 Калибровка АЦ проводится с помощью:

- ЭК из комплекта поставки АЦ (для коаксиального волновода);
- набора калибровочных мер НКМВ-У из комплекта поставки АЦ (для волноводных трактов, при этом возможна только двухпортовая калибровка);
- набора калибровочных мер для коаксиального волновода.

Измерения проводятся в следующей последовательности.

Примечания

1 В случае, если наборов калибровочных мер или ЭК в составе АЦ несколько (АЦ применяется для измерений в нескольких трактах), проверка выполняется после калибровки АЦ с каждым из них, поочередно. При проведении проверки в полуавтоматическом режиме согласно п. 10.8.16 для каждого набора необходимо заново выполнять все пункты указанного метода.

2 При наличии в составе АЦ двух кабелей СВЧ, их подключают к измерительным портам АЦ «Порт 1» и «Порт 2» и проводят двухпортовую калибровку АЦ. При наличии только одного кабеля СВЧ, его подключают к измерительному порту АЦ «Порт 1» и проводят двухпортовую калибровку АЦ. В коаксиальном тракте на кабель, подключенный к порту 1 АЦ, подсоединяют переход «розетка-вилка»; на кабель порта 2 АЦ (или

непосредственно на порт 2 АЦ) подсоединяют переход «розетка-розетка» из калибровочного набора для возможности калибровки на «Проход».

3 При использовании ЭК, с соединителями «вилка-вилка» или «розетка-розетка», необходимо на его первом порту через калибровочный переход подсоединить переход с соединителями «розетка-розетка» или «вилка-вилка» из его комплекта, для которого имеется соответствующий файл описания *.fnc (если у этого перехода порты имеют однотипные соединители, то переход к ЭК подключается тем портом, у которого шлиц для поддерживающего ключа отсутствует).

10.8.4 Восстановить начальные параметры АЦ. Установить полосу пропускания фильтра ПЧ 100 Гц, выходная мощность 0 дБ/мВт; частотный диапазон – в соответствии с диапазоном частот используемого набора калибровочных мер. Нижняя частота $f_{\text{H}}^{\text{min}}$ и верхняя частота $f_{\text{B}}^{\text{max}}$ не должны быть соответственно ниже и выше, приведенных в таблице 9. В случае, если граничные частоты, на которых аттестованы эталонные меры, не удовлетворяют указанным критериям, то за $f_{\text{H}}^{\text{min}}$ и $f_{\text{B}}^{\text{max}}$ принимают ближайшие к ним подходящие частоты аттестации. Количество точек установить таким, чтобы частоты, на которых проводятся измерения, совпадали с частотами аттестации эталонных мер (для исключения погрешности интерполяции между точками), при этом количество точек должно быть не менее 200 (для этого, как правило, достаточно установить количество точек $n = \{(f_{\text{B}}^{\text{max}} [\text{Гц}] - f_{\text{H}}^{\text{min}} [\text{Гц}]) \cdot 100 + 1\}$).

10.8.5 Запустить процесс измерений. В главном меню ПО Graphit P4M выбрать пункты «Калибровка > Мастер калибровки ...».

При использовании ЭК на этапе «Метод калибровки» Мастера калибровки выбрать радиокнопку «Векторная калибровка» (с электронным калибратором), а при использовании набора калибровочных мер выбрать радиокнопку «Управляемая (по стандарту)». Нажать «Далее». В случае использования ЭК осуществить к нему подключение.

ВНИМАНИЕ: КАБЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ КАЛИБРОВКЕ И ИЗМЕРЕНИЯХ, ДОЛЖНЫ БЫТЬ ПО ВОЗМОЖНОСТИ МАКСИМАЛЬНО НЕПОДВИЖНЫ. ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КАБЕЛЕЙ ВО ВРЕМЯ КАЛИБРОВКИ И (ИЛИ) ИЗМЕРЕНИЯ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К ЗНАЧИТЕЛЬНЫМ ИСКАЖЕНИЯМ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ! ТАКЖЕ ПОСЛЕ ПОДСОЕДИНЕНИЯ КАБЕЛЕЙ К АЦ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ИХ ЛИШНИХ ИЗГИБОВ, НА СВОБОДНЫЙ СОЕДИНИТЕЛЬ КАБЕЛЕЙ РЕКОМЕНДУЕТСЯ ПОДКЛЮЧИТЬ ПЕРЕХОД И ДАЛЕЕ ПРИ КАЛИБРОВКЕ И ИЗМЕРЕНИЯХ ЕГО НЕ ОТСӨДИНЯТЬ.

10.8.7 На этапе калибровки «Настройка конфигурации» в группе «Калибруемые параметры» выбрать «S (порты 1-2)». Выбрать соответствующие типы соединителей, наборы калибровочных мер. Для ЭК с соединителями «вилка-вилка» или «розетка-розетка», если есть возможность, выбрать типы соединителей ЭК, в группе «Конфигурация портов» выбрать «Векторная калибровка» и флажок «Использовать файл описания» и в группе «Порты» выбрать «АЦ» и «Векторный» из комплекта поставки ЭК, в группе «Порты» выбрать «Векторный» и «Соединенный» к первому порту ЭК перехода. Нажать «Далее». При калибровке в волновом тракте выбрать вариант калибровки – «Векторная калибровка SOLT», тип – «Двухпроводная (порт 1-2)», а флажок «Измерение на изоляции» (при его наличии) должен быть установлен. При калибровке в прямоугольном волноводе выбрать вариант калибровки «Векторная калибровка TRL». Нажать «Далее». Выполнить дальнейшие шаги калибровки согласно указаниям Мастера калибровки и РЭ.

10.8.8 После выполнения калибровки скрыть трассы S₁₁ и S₂₂ для измерения КП аттенуатора.

10.8.9 В программе Graphit P4M открыть, при наличии, файл (*.s2p) с действительными значениями (т.е. полученными по результатам аттестации мер) S-параметров аттенюатора, с целью загрузки трасс его КО и КП на экран ПК. Скрыть отображение загруженных трасс КО.

10.8.10 Подключить к соединителям, в сечении которых осуществлялась калибровка, аттенюатор (в коаксиальном тракте – аттенюатор 10 дБ; в волноводном тракте – 84905М или 84908М с переходами волноводно-коаксиальными).

ВНИМАНИЕ: ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ АТТЕНЮАТОРА ЕГО РОЗЕТКА (ИЛИ ПОРТ 1 АТТЕНЮАТОРА ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ВОЛНОВОДОВ) ДОЛЖНА ПОДКЛЮЧАТЬСЯ К ПОРТУ АЦ. ЕСЛИ В ПРОТОКОЛЕ ПОВЕРКИ (СЕРТИФИКАТЕ КАЛИБРОВКИ) ПОД S11 ПОНИМАЕТСЯ РОЗЕТКА АТТЕНЮАТОРА (ИЛИ ЕГО ПОРТ 1 ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ВОЛНОВОДОВ), В ПРОТИВНОМ СЛУЧАЕ РОЗЕТКА (ПОРТ 1 АТТЕНЮАТОРА) ПОДКЛЮЧАЕТСЯ К ПОРТУ 2 АЦ.

Примечания

1 При проверке в прямоугольном волноводном тракте следует использовать аттенюаторы в тракте с сечением прямоугольного волновода, соответствующем применяемому набору калибровочных мер НКМВ-У. Производить измерение волноводных аттенюаторов, подключая их к фланцам со стороны «Порт 1» и «Порт 2» АЦ.

2 Коаксиально-волноводные переходы с сечением 23×10 мм и больше непосредственно на порт АЦ подключать не рекомендуется во избежание повреждения его соединителей. Подключение рекомендуется производить с использованием кабеля СВЧ из комплекта поставки.

10.8.11 Дождавшись окончания цикла измерения, запомнить измеренные КП S_{21i} и S_{12i} аттенюатора с помощью трасс памяти, где i – номер частотной точки (далее в данном подразделе под S_{yx} понимается S_{21} и/или S_{12} , под S_{xx} понимается S_{11} и/или S_{22} , а индекс i для измеренных значений и их погрешностей будут опускаться). Выбрать для запоминания трасс S_{12} , S_{21} и загруженных трасс КП аттенюатора формат отображения «Абсолютные значения». Выполнить задание по штабированию запомненных и загруженных трасс.

10.8.12 Определить значения абсолютных погрешностей измерения модуля КП $\Delta|S_{yx}^{ИЗМ}|$ (знаковые величины) в частотных точках, на которых аттестованы используемые меры, в дБ по формуле (6). Зафиксировать полученные $\Delta|S_{yx}^{ИЗМ}|$.

$$\Delta|S_{yx}^{ИЗМ}| = |S_{yx}^{ИЗМ}| - |S_{yx}^0|, \quad (6)$$

где $|S_{yx}^{ИЗМ}|$ – измеренные значения модуля КП аттенюатора, дБ;

$|S_{yx}^0|$ – загруженные действительные значения модуля КП аттенюатора (т.е. полученные по результатам аттестации меры), дБ.

Примечание – При отсутствии файла (*.s2p) с действительными значениями S-параметров аттенюатора, определить значения КП по трассам памяти с помощью маркеров в частотных точках аттестации мер и вычислить разницу между измеренными и действительными значениями КП из протокола поверки аттенюатора. Минимальное допустимое количество частотных точек сравнения для прямоугольных волноводов – три, а для коаксиальных – десять; при этом обязательно проводится сравнение на $f_{Н}^{min}$ и $f_{В}^{max}$, а остальные точки должны быть по возможности равномерно распределены между ними.

10.8.13 Определить значения абсолютных погрешностей измерения фаз КП $\Delta\Phi_{yx}^{ИЗМ}$ в

градусах (для чего предварительно выбрать формат отображения «Фаза [°]» для запомненных трасс $S_{yx}^{ИЗМ}$ и загруженных трасс S_{yx}^0 , взятых из результатов аттестации мер, и произвести автомасштабирование трасс) в частотных точках, на которых аттестованы используемые меры, по формуле (7), т.е. функция $\text{int}[\]$, учитывает переброс фазы при значениях фазы близких к $\pm 180^\circ$. Зафиксировать полученные результаты измерений $\Delta\Phi_{yx}^{ИЗМ}$.

$$\Delta\Phi_{yx}^{ИЗМ} = \Phi_{yx}^{ИЗМ} - \Phi_{yx}^0 - \text{int}[(\Phi_{yx}^{ИЗМ} - \Phi_{yx}^0)/360] \cdot 360, \quad (7)$$

где $\Phi_{yx}^{ИЗМ}$ – фаза КП измеренных (т.е. запомненных) значений $S_{yx}^{ИЗМ}$ аттенюатора, градусы;

Φ_{yx}^0 – фаза КП загруженных действительных значений S_{yx}^0 аттенюатора (т.е. полученных по результатам аттестации меры), градусы;

$\text{int}[x]$ – функция, возвращающая ближайшее целое от x ¹⁾.

10.8.14 Повторить пункты 10.8.10–10.8.13 для коаксиального аттенюатора 50 дБ (сборка из аттенюаторов 20 дБ и 30 дБ), используя для загрузки его S-параметров в пункте 10.11.9 файл (*.s2p) S-параметров каскадного соединения аттенюаторов 20 дБ и 30 дБ. При этом помимо трасс S_{yx} необходимо дополнительно измерять S_{xx} в отн. ед. При работе в прямоугольном волноводе повторить указанные в данном пункте действия для аттенюаторов 849С5М, 849С8М с переходами волноводно-коаксиальными устанавливая значения ослабления, соответствующие модулю КП минус 20, минус 40 и минус 70. Сохранить профиль измерений.

Примечание – При отсутствии для коаксиального тракта описания сборки из аттенюаторов 20 дБ и 30 дБ допускается его сформировать самостоятельно из данных протокола поверки для аттенюаторов 20 и 30 дБ по формулам 8 и 9 (для данного варианта формул предполагается, что первый порт аттенюатора 20 дБ подключается к порту 1 АЦ, а второй порт аттенюатора 30 дБ – к порту 2 АЦ)

$$S_{21}^{(50)} = \frac{S_{21}^{(20)} \cdot S_{21}^{(30)}}{1 - S_{22}^{(20)} \cdot S_{11}^{(30)}} \quad (8)$$

$$S_{12}^{(50)} = \frac{S_{12}^{(20)} \cdot S_{12}^{(30)}}{1 - S_{22}^{(20)} \cdot S_{11}^{(30)}} \quad (9),$$

где S с соответствующими индексами – комплексные S-параметры в отн. ед. (верхний индекс соответствует ослаблению аттенюатора, нижний – типу S-параметра).

10.8.15 Рассчитать пределы абсолютных погрешностей измерения модуля и фазы КП, соответственно $\Delta|S_{yx}|$ и $\Delta\Phi_{yx}$, по формулам из таблицы 11.

¹⁾Например для $x = -8,9$, значение функции $\text{int}[-8,9] = -9$; в MS Excel 2007 эту роль выполняет функция «ОКРУГЛ(x;0)».

Таблица 11 – Формулы для расчета пределов погрешности измерения КП

Наборы мер	Диапазон частот, ГГц	Формулы для определения пределов абсолютной погрешности $\Delta S_{yx} $ в дБ и $\Delta\Phi_{yx}$ в градусах
НКММ	от 0,01 до 0,10 невл.	$\Delta S_{yx} = \pm 20 \cdot \lg(1,111 + 0,014 \cdot (S_{xx}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + S_{yy}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + 0,00735 \cdot 10^{-0,0148 \cdot S_{yx}^{ИЗМ} [\text{дБ}]});$ $\Delta\Phi_{yx} = \pm(0,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{yx} [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20))$
	от 0,1 до 18 вкл.	$\Delta S_{yx} = \pm 20 \cdot \lg(1,0085 + 0,014 \cdot (S_{xx}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + S_{yy}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + 0,0027 \cdot 10^{-0,0170 \cdot S_{yx}^{ИЗМ} [\text{дБ}]});$ $\Delta\Phi_{yx} = \pm(0,6 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{yx} [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20))$
	свыше 18	$\Delta S_{yx} = \pm 20 \cdot \lg(1,0147 + 0,0140 \cdot (S_{xx}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + S_{yy}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + 0,0032 \cdot 10^{-0,0173 \cdot S_{yx}^{ИЗМ} [\text{дБ}]});$ $\Delta\Phi_{yx} = \pm(1,0 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{yx} [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20))$
ЭК	от 0,01 до 0,10 невл.	$\Delta S_{yx} = \pm 20 \cdot \lg(1,1240 + 0,0140 \cdot (S_{xx}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + S_{yy}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + 0,0180 \cdot 10^{-0,0186 \cdot S_{yx}^{ИЗМ} [\text{дБ}]});$ $\Delta\Phi_{yx} = \pm(12 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{yx} [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20))$
	от 0,1 до 18 вкл.	$\Delta S_{yx} = \pm 20 \cdot \lg(1,038 + 0,014 \cdot (S_{xx}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + S_{yy}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + 0,028 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-0,028 \cdot S_{yx}^{ИЗМ} [\text{дБ}]});$ $\Delta\Phi_{yx} = \pm(0,7 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{yx} [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20))$
	свыше 18	$\Delta S_{yx} = \pm 20 \cdot \lg(1,038 + 0,014 \cdot (S_{xx}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + S_{yy}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + 0,033 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-0,028 \cdot S_{yx}^{ИЗМ} [\text{дБ}]});$ $\Delta\Phi_{yx} = \pm(2,1 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{yx} [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20))$
НКМВ	–	$\Delta S_{yx} = \pm 20 \cdot \lg(1,0140 + 0,0140 \cdot (S_{xx}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + S_{yy}^{ИЗМ} [\text{отн. ед.}] + 0,0025 \cdot 10^{-0,0205 \cdot S_{yx}^{ИЗМ} [\text{дБ}]});$ $\Delta\Phi_{yx} = \pm(0,55 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{yx} [\text{дБ}] \cdot \ln(10)/20))$

10.8.16 Поверку в соответствии с п. 10.8.4–10.8.15 допускается проводить в полуавтоматическом режиме с помощью встроенного ПО в следующей последовательности.

10.8.16.1 Выбрать в главном меню программного обеспечения Graphit «Управление», далее выбрать пункт «Поверка...».

10.8.16.2 В появившемся окне «Мастера поверки» выбрать на панели навигации слева пункт «Поверка векторного анализатора цепей» и далее в группе «Состав:» в поле со списком «Набор калибровочных мер:» выбрать набор, с которым будет проводиться проверка.

10.8.16.3 На панели навигации выбрать пункт проверки – «Абсолютная погрешность измерений КП».

10.8.16.4 Следуя указаниям мастера в текстовом поле «Порядок действий», выполнить проверку. По окончании проверки сохранить профиль измерений.

10.8.17 Результат поверки считать положительным, если $|\Delta|S_{yx}^{ИЗМ}|$ и $|\Delta\Phi_{yx}^{ИЗМ}|$ для аттенуаторов с ослаблением 10 и 50 дБ в коаксиальном тракте (при калибровках с набором калибровочных мер коаксиального тракта и с ЭК), а также в прямоугольном волноводном тракте в диапазоне измерений модуля коэффициента передачи от минус 70 до 0 дБ, не превышают соответствующих значений $|\Delta|S_{yx}|$ и $|\Delta\Phi_{yx}|$.

10.9 Определение КСВН входа порта 2 при измерении КШ в диапазоне от 0,1 до 26,5 ГГц

10.9.1 Подготовить к работе следующее оборудование в соответствии с РЭ на него: кабель СВЧ из комплекта поставки АЦ; калибровочный набор мер (НКММ-13-13Р). Также подготовить соответствующие переходы при необходимости.

10.9.2 Запустить ПО, осуществить подключение к АЦ. В меню «Профиль» выбрать «Восстановить начальные параметры»; далее в меню «Калибровка» выбрать «Информация о калибровках...» и отключить все калибровочные данные, при их наличии (в том числе и фабричную калибровку), снимая соответствующие флажки в колонке «Вкл». Запустить процесс измерений.

10.9.3 С помощью панелей управления (располагаются справа на экране программы и обозначаются соответствующими пиктограммами) установить следующие параметры измерения на АЦ:

- диапазон частот: от 0,1 до 26,50 ГГц;
- количество частотных точек – 2000;
- фильтр ПЧ – 1,0 кГц.

10.9.4 Удалить все трассы, кроме трассы с источником данных «S₁₁».

10.9.5 На панели управления «Измерение шума» включить переключатель «Шумовой приемник».

10.9.6 Подключить кабель СВЧ к порту 1. Провести однопортовую SOLT-калибровку порта 1 с помощью набора мер с целью измерения коэффициента отражения. Применить калибровку.

10.9.7 Соединить порт 1 и порт 2 кабелем СВЧ, подключив соответствующий переход к порту 2. По трассе «S₁₁» определить наибольшее значение КСВН второго порта.

10.9.8 Результат поверки считать положительным, если измеренные значения КСВН порта 2 в диапазоне частот, не более: 2,35.

10.10 Определение диапазона суммы $S_0 = (КШ [дБ] + |S_{21}| [дБ])$ исследуемого устройства (ИУ), при $|S_{21}| \geq 4,5$ дБ

10.10.1 Подготовить к работе следующее оборудование в соответствии с РЭ на него: генератор шума (ГШ) с номинальным ИОШТ 15 дБ, аттенюаторы 10 дБ (1 шт.), 20 дБ (1 шт.) и 30 дБ (1 шт.). Также подготовить соответствующие переходы при необходимости, кабель СВЧ (далее – кабель К1) из комплекта поставки АЦ и кабель BNC.

Примечание – В данной методике используется внутренний ступенчатый аттенюатор АЦ. В случае получения неудовлетворительных результатов проверку допускается проводить с использованием внешнего ступенчатого аттенюатора с включаемой (выключаемой) секцией 10 дБ (1 шт., далее – аттенюатор А2); в этом случае необходимо дополнительно подготовить аттенюаторы 40 дБ (1 шт.), 10 дБ (1 шт.); кабель СВЧ (далее – кабель СВЧ К2).

10.10.2 Запустить ПО, осуществить подключение к АЦ. В меню «Профиль» выбрать «Восстановить начальные параметры»; далее в меню «Калибровка» выбрать «Информация о калибровках...» и отключить все калибровочные данные, при их наличии (в том числе и фабричную калибровку), снимая соответствующие флажки в колонке «Вкл». Создать измерительную трассу с источником данных «Норм. темп. (T/T₀)» (для этого выбрать меню «Трасса», далее «Измерение», далее «Измерение шума» и затем «Норм. темп. (T/T₀)»), остальные трассы удалить (для этого выбрать удаляемые трассы и нажать на клавиатуре клавишу «Delete»). Для созданной трассы на панели управления «Функции трасс» включить усреднение и установить его значение 1000 (для этого в меню «Трасса» выбрать «Усреднение», далее «Включено»; после этого в меню «Трасса» выбрать «Усреднение», далее «коэффициент усреднения», далее установить значение, равное 1000 и

нажать «ОК»). Запустить процесс измерений (для этого нажать на клавиатуре клавишу «F5»).

10.10.3 Проверка проводится на двух частотах: $f_1 = 3390$ МГц и $f_2 = 5900$ МГц.

10.10.4 С помощью панелей управления (располагаются справа на экране программы и обозначаются соответствующими пиктограммами) установить следующие параметры измерения на АЦ:

на панели управления «Частота»:

- в поле «Старт» установить значение частоты f_1 ;
- в поле «Стоп» установить значение частоты f_2 ;
- в поле «Точек» установить значение, равное 2;

на панели управления «Измерение шума»:

- в поле «Усреднение в приборе» установить значение, равное 100;
- в поле «Фильтр разрешения» установить значение 3 МГц;

на панели управления «Мощность»:

- в поле «Центр» установить значение, равное минус 10 дБм (устанавливается по умолчанию после восстановления начальных параметров);

- в группе «Аттенюатор генератора (порт 1 / 2)» для аттенюатора по выходу порта 1 (т. е. в левом поле) установить значение 20 дБ (далее по тексту – ступенчатый аттенюатор; если используется внешний ступенчатый аттенюатор, то ослабление этого аттенюатора и остальных встроенных аттенюаторов генератора порта 1 должны быть в состоянии 0 дБ).

10.10.5 В меню «Управление» выбрать «Мощность СВЧ» и далее «ВЫКЛ» (далее по тексту – отключить мощность). Подключить к порту 2 АЦ генератор шума.

ВНИМАНИЕ: ВО ИЗБЕЖАНИЕ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ АЦ КАБЕЛЬ VNC СНАЧАЛА ПОДКЛЮЧАЕТСЯ К ГЕНЕРАТОРУ ШУМА, ДАЛЕЕ – К АЦ!

10.10.6 Выдержать АЦ не менее 5 мин в режиме измерения от начала их запуска.

10.10.7 Провести скалярную калибровку измерений коэффициента шума порта 2 относительно ГШ (без учета отражений), подгрузив соответствующую характеристику ГШ (для этого запустить Мастер калибровки, нажав клавишу «F6», выбрать «Управляемая (по сценарию)», нажать «Далее >>», в группе «Калибруемые параметры» выбрать «шум (порт 2)» и нажать «Далее >>», снять все флажки, если они установлены, далее нажать кнопку «Характеристика ГШ (ИОШТ)...» и выбрать файл с ИОШТ для используемого ГШ, нажать «Далее >>» и следовать указаниям Мастера калибровки).

10.10.8 Установить маркер на частоту $f_1 = 3390$ МГц, выбрав из меню «Маркер» пункт «Включить», затем из меню «Маркер» выбрать «Свойства», далее в окне «Задающее воздействие» установить необходимую частоту, в поле «Точность (абсцисс/ординат)» для ординаты установить точность 3, также включить переключатели «Дискретный» и «Статистика».

10.10.9 Далее с помощью маркера измерить уровень относительной мощности сигнала во включенном состоянии ГШ $D_{ГШ}^{ВКЛ1}$ и в выключенном $D_{ГШ}^{ВЫКЛ1}$, в дБ, включив и выключив переключатель «Генератор шума» панели управления «Измерение шума». Зафиксировать показания (в качестве показания следует брать среднее значение из статистического маркера, т. е. второе значение отображаемое маркером).

Примечание – Всякий раз перед отсчетом показаний необходимо сначала нажимать кнопку «Сброс усреднения» на панели «Функции трасс», и далее сбрасывать статистику маркера (щелкая по нему указателем мыши); после этого дожидаться установившегося значения (под установившимся значением здесь и далее понимается такое значение, при котором за два-три кадра развертки его величина меняется не более чем на две единицы младшего разряда; записывать в этом случае рекомендуется последнее показание).

Если при снятии показаний не удастся наблюдать установившееся значение, то необходимо, постепенно увеличивая на панели управления «Измерение шума» значение в поле «Усреднение в приборе», экспериментальным путем найти то значение усреднения, при котором удастся зафиксировать установившееся значение.

10.10.10 Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 6.

Примечания

1 Если используется внешний ступенчатый аттенюатор А2, то в его качестве можно использовать два соединенных последовательно ступенчатых аттенюатора, используя первый для изменения уровня сигнала ступенями по 5 дБ, а второй для имитации постоянного отношения Y уровней сигнала, используя для этого участок от 0 до 10 дБ. На входе второго аттенюатора необходимо включить фиксированный развязывающий аттенюатор 10 дБ.

2 Кабель К1 (и К2, если он используется) необходимо расположить таким образом, чтобы во время измерений он оставался неподвижными.

ВНИМАНИЕ: ЛЕГКОЕ ЗАДЕВАНИЕ КАБЕЛЯ К1 (И/ИЛИ К2), А ТАКЖЕ ПЕРЕПАД ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ БОЛЕЕ 2 °С, ВО ВРЕМЯ КАЛИБРОВКИ И (ИЛИ) ИЗМЕРЕНИЯ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К ЗНАЧИТЕЛЬНЫМ ИСКАЖЕНИЯМ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ!

10.10.11 За исходное состояние ступенчатого аттенюатора принимается установленное в п. 10.10.4 значение 20 дБ (если вместо внутреннего ступенчатого аттенюатора используется внешний ступенчатый аттенюатор, то для него установить ослабление 0 дБ, которое будет приниматься далее по тексту за исходное).

10.10.12 Включить мощность СВЧ порта 1 (для этого в меню «Управление» выбрать «Мощность СВЧ», далее «ПОРТ 1»). Изменяя уровень относительной выходной мощности источника зондирующего сигнала порта 1 (далее – генератора) на панели управления «Мощность» в поле «Центр», получить показание относительной мощности (далее по тексту – мощности) АЦ $D_{ВХ1}$ таким, чтобы выполнялось $D_{ВХ1} = (D_{ГШ}^{ВКЛ1} + 40 \pm 0,2)$, дБ. Если при этом выходная мощность генератора оказалась ниже максимальной выходной мощности на величину большую, чем 10 дБ, то между А4 и кабелем СВЧ К2 (или вместо А4) добавить аттенюатор, а уровень выходной мощности генератора соответственно увеличить на величину ослабления этого аттенюатора.

ВНИМАНИЕ: ВСЯКИЙ РАЗ ПОСЛЕ ВКЛЮЧЕНИЯ ИЛИ УСТАНОВЛЕНИЯ НОВОГО УРОВНЯ МОЩНОСТИ ВО ИЗБЕЖАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НЕОБХОДИМО ВЫЖИДАТЬ 7-10 с ПЕРЕД НАЧАЛОМ СНЯТИЯ ПОКАЗАНИЙ!

10.10.13 Дождавшись по показаниям маркера установившегося значения относительной мощности, измерить ее уровень $D'_{А.ВЫКЛ_i}$, дБ, пользуясь тем же маркером.

10.10.14 Увеличить ослабление ступенчатого аттенюатора на 10 дБ и измерить уровень мощности $D_{А.ВКЛ_i}$, дБ.

Примечание – Допускается использовать меньшие ступени ступенчатого аттенюатора (при их наличие), например 1 или 5 дБ, с соответствующей корректировкой процедур измерений и обработки результатов.

10.10.15 Установить ступенчатый аттенюатор в исходное положение и измерить

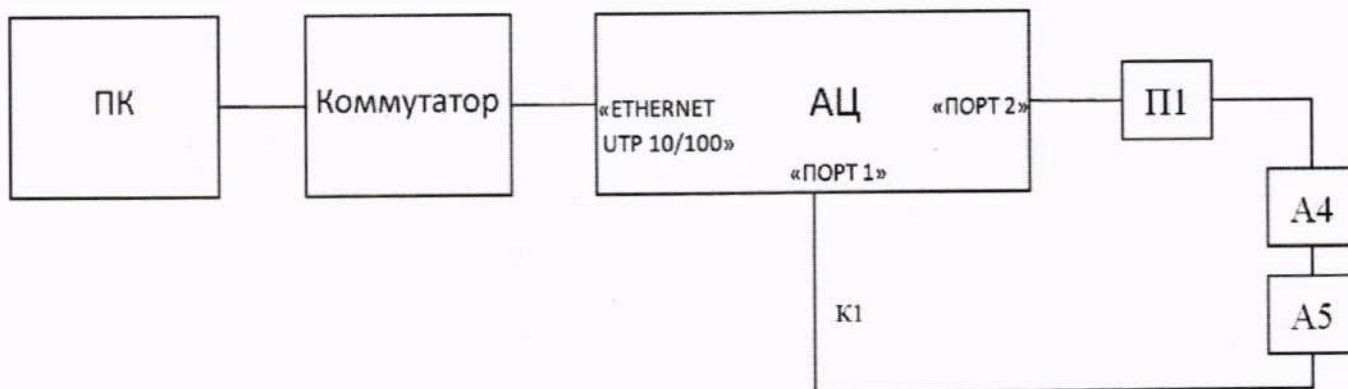
уровень мощности $D''_{\text{А.ВЫКЛ}_i}$, дБ. Рассчитать по результатам измерений отношение a_i , по формуле (10)

$$a_i[\text{дБ}] = D_{\text{А.ВЫКЛ}_i}[\text{дБ}] - D_{\text{А.ВКЛ}_i}[\text{дБ}], \quad (10)$$

где $D_{\text{А.ВЫКЛ}_i}[\text{дБ}] = (D'_{\text{А.ВЫКЛ}}[\text{дБ}]_i + D''_{\text{А.ВЫКЛ}}[\text{дБ}]_i)/2$.

10.10.16 Данные занести в таблицу, изображенную на рисунке 7, начиная с $i = 1$. Ориентировочные значения суммы (КП [дБ]+КШ [дБ]) в полосах 3 и 15 МГц, имитируемые при этих измерениях, приведены в столбце 3 таблицы (где 3 МГц применимо для $i < 8$, а 15 МГц – для $i \geq 8$).

10.10.17 Поочередно уменьшая уровень выходной мощности генератора с шагом 5 дБ в последовательности, указанной в столбце 2 таблицы на рисунке 7, повторять каждый раз процедуру по пп. 10.10.13–10.10.16, измеряя величину a_i для $i = 2-7$. При этом для устранения влияния собственного шума АЦ на результат измерения a_i при $i > 1$ необходимо измерить его уровень $D_{\text{ИЗМ}}$, дБ; а расчет отношения a_i , дБ выполнять по формуле (11). Измерение $D_{\text{ИЗМ}}$ проводить так же с помощью маркера, как и $D_{\text{А.ВЫКЛ}_i}$, $D_{\text{А.ВКЛ}_i}$, но при этом отключить мощность. Это необходимо делать в конце каждого из измерений.



Коммутатор – коммутатор локальной сети; К1 – Кабель СВЧ; П1 – переход; А4, А5 – соответственно аттенюаторы 10 и 30 дБ;

(если вместо внутреннего ступенчатого аттенюатора используется внешний А2, то А2 вместе с аттенюаторами А1 и А3 соответственно с ослаблением 20 и 10 дБ и, при необходимости, с переходами П2 и П3 подключается между К1 и А4 таким образом, что А1 и П2 находятся между К1 и А2, а А3 и П3 – между А2 и А4; в свою очередь А3 и А4 (или А5) соединяются, при необходимости, с помощью кабеля СВЧ К2)

Рисунок 6 – Схема для проверки диапазонов и инструментальных погрешностей измерения КШ

Примечания

1 Если требуемые уровни мощности меньше нижней границы диапазона выходных мощностей генератора, необходимо подключать дополнительные аттенюаторы к А4 (или вместо А5); во время присоединения аттенюаторов необходимо отключать мощность СВЧ.

2 Оператору необходимо следить, чтобы временной интервал между измерениями $D_{\text{А.ВЫКЛ}_i}$, $D_{\text{А.ВКЛ}_i}$ и $D_{\text{ИЗМ}}$ по возможности был минимальным. В случае необходимости переизмерения какой-либо из этих величин перемерить следует и остальные для установленного значения мощности генератора.

$$a_i[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg \left(\frac{D_{\text{А.ВЫКЛ}_i}[\text{отн.ед.}] - D_{\text{ИЗМ}_i}[\text{отн.ед.}]}{D_{\text{А.ВКЛ}_i}[\text{отн.ед.}] - D_{\text{ИЗМ}_i}[\text{отн.ед.}]} \right), \quad (11)$$

где i – номер соответствующего измерения.

10.10.18 Для пересчета в отн. ед. результатов измерений уровней мощности D использовать формулу:

$$D[\text{отн. ед.}] = 10^{0,1 \cdot D[\text{дБ}]}, \quad (12)$$

10.10.19 Оценить действительное значение ослабления используемой ступени 10 дБ $a_{д1}$, дБ, для $l = 4$ по формуле:

$$a_{д1} = (a_l + a_{l+1} + a_{l+2} + a_{l+3})/4, \quad (13)$$

i	Уровень входной мощности	Имитация (КП [дБ]+КШ [дБ])	$D'_{\text{А.ВЫКЛ}_i}$, дБ	$D''_{\text{А.ВЫКЛ}_i}$, дБ	$D_{\text{А.ВЫКЛ}_i}$, дБ	$D_{\text{ИЗМ}_i}$, дБ	a_i , дБ	δa_i , дБ	$K1_i$, отн. ед.	$Y_{(\text{нел})_i}$, дБ	$Y_{(\text{нел})_{д_i}}$, дБ	$\Delta Y_{\text{нел}_i}$, дБ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	$D_{\text{ГШ}}^{\text{ВКЛ}1}+40$	55–45				–						
2	$D_{\text{ГШ}}^{\text{ВКЛ}1}+35$	50–40										
3	$D_{\text{ГШ}}^{\text{ВКЛ}1}+30$	45–35										
4	$D_{\text{ГШ}}^{\text{ВКЛ}1}+25$	40–30										
5	$D_{\text{ГШ}}^{\text{ВКЛ}1}+20$	35–25										
6	$D_{\text{ГШ}}^{\text{ВКЛ}1}+15$	30–20										
7	$D_{\text{ГШ}}^{\text{ВКЛ}1}+10$	25–15										
8	$D_{\text{ГШ}}^{\text{ВКЛ}2}+25$	40–30										
9	$D_{\text{ГШ}}^{\text{ВКЛ}2}+20$	35–25										
10	$D_{\text{ГШ}}^{\text{ВКЛ}2}$	15–5										

Рисунок 7 – Образец таблицы для записи результатов измерений

10.10.20 Заполнить столбцы 9–13 таблицы на рисунке 7 для $i = 2–7$, рассчитав погрешность измерений отношения мощностей из-за нелинейности измерительного тракта $\Delta Y_{\text{нел}_i}$, дБ, и соответствующие коэффициенты по формулам (14) и (15).

$$Y_{(\text{нел})_i}[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg \left(\frac{D_{\text{А.ВЫКЛ}_i}[\text{отн. ед.}] - D_{\text{ГШ}}^{\text{ВЫКЛ}1}[\text{отн. ед.}]}{D_{\text{ГШ}}^{\text{ВКЛ}1}[\text{отн. ед.}] - D_{\text{ГШ}}^{\text{ВЫКЛ}1}[\text{отн. ед.}]} \right), \quad (14)$$

$$Y_{(\text{нел})_{д_i}}[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg \left(\frac{D_{\text{А.ВЫКЛ}_i}[\text{отн. ед.}] \cdot K1_i - D_{\text{ГШ}}^{\text{ВЫКЛ}1}[\text{отн. ед.}]}{D_{\text{ГШ}}^{\text{ВКЛ}1}[\text{отн. ед.}] - D_{\text{ГШ}}^{\text{ВЫКЛ}1}[\text{отн. ед.}]} \right), \quad (15)$$

где $Y_{(\text{нел})_{д_i}}$ – действительные значения отношений $Y_{(\text{нел})_i}$;

$K1_i$, – вспомогательные коэффициенты, рассчитываемые по следующей формуле

$$K1_i[\text{отн. ед.}] = 10^{-0,1 \cdot (b_1 \cdot (\sum_{m=i+1}^l \delta a_m[\text{дБ}]) + b_2 \cdot (\delta a_{i+1}[\text{дБ}] + \delta a_i[\text{дБ}]))} \quad (16)$$

где $\delta a_m[\text{дБ}] = a_m[\text{дБ}] - a_{д1}[\text{дБ}]$; $b_1 = 0,5$; $b_2 = 0,25$;

$$\Delta Y_{\text{нел}_i}[\text{дБ}] = Y_{(\text{нел})_i}[\text{дБ}] - Y_{(\text{нел})_{д_i}}[\text{дБ}], \quad (17)$$

Примечание – Если шаг изменения уровня генератора равен шагу переключаемой секции А2, то $b_1 = 1$, а $b_2 = 0$.

10.10.21 Повторить измерения согласно пп. 10.10.5, 10.10.13–10.10.16 для $i = (8-10)$, но на частоте f_2 , предварительно установив фильтр разрешения 15 МГц, для значения входной мощности $D_{ВХ2} = (D_{ГШ}^{ВКЛ2} + 25 \pm 0,2)$, измеряя и учитывая $D_{ИЗМ}$. Из полученных значений аналогично рассчитать a_i , $a_{д2}$ и $K1_i$ (при $l = 8$, причем $a_{д2}$ рассчитывается по формуле $a_{д2} = (a_i + a_{i+1})/2$), $\Delta Y_{нел_i}$.

10.10.22 За пределы инструментальной погрешности измерения КШ принять погрешность измерения отношения $Y^{1)}$ из-за нелинейности $\Delta Y_{нел} = \pm \max(|\Delta Y_{нел_i}|)$, дБ, при i от 1 до 7, а за предел флюктуаций принять $\Delta Y_{нел_{10}}$, т.е. $|\Delta Y_{нел_i}|$ для $i = 10$.

10.10.23 Результат поверки считать положительным, если найденные значения $|\Delta Y_{нел}| \leq 0,05$ дБ и $\Delta Y_{нел_{10}} \leq 0,12$ дБ.

10.11 Определение абсолютной погрешности измерения КШ (для ИУ с КСВН не более 1,7) в диапазоне от 0,1 до 26,5 ГГц, ИОШТ генератора шума (ГШ) 15 дБ в зависимости от пределов погрешности (ПГ) ИОШТ ГШ

10.11.1 Часть настоящей проверки проводится расчетным методом согласно формулам, приводимым в РЭ (для вычислений можно пользоваться файлом «Расчет_ПГ_КШ_P42x_v1.7.x.xlsx», при его наличии на поставляемом цифровом носителе из комплекта поставки АЦ), исходными данными для которого являются другие показатели точности, то ее следует начинать после проведения проверок согласно пп. 10.9, 10.10.

10.11.2 Исходными данными для расчета являются (значения выбраны из соображений достижения наибольших значений погрешности КШ):

- коэффициент шума (КШ) исследуемого устройства (ИУ) $F_{ИУ} = 32$ дБ;
- коэффициент передачи (КП) ИУ $G_{ИУ} = |S_{21}^{ИУ}| = 8$ дБ;
- модули коэффициентов отражения (КО) входа и выхода ИУ соответственно $|S_{11}^{ИУ}| = 0,259$ отн.ед., $|S_{22}^{ИУ}| = 0,259$ отн.ед.;
- модуль S_{11} входа АЦ порта 2 $|S_{11}^{P4}|$, рассчитывается согласно формуле (18):

$$|S_{11}^{P4}| = (КСВН_{P4} - 1)/(КСВН_{P4} + 1), \quad (18)$$

где $КСВН_{P4}$ – наибольшее значение КСВН, измеренное согласно п. 10.9 в диапазоне свыше 0,1 ГГц, отн. ед.;

- ПГ измерения отношения Y из-за нелинейности амплитудной характеристики (АХ) АЦ $\Delta Y_{нел}$, принимается равной $\Delta Y_{нел}$, измеренной согласно п. 10.10;
- ИОШТ используемого ГШ $ENR = 15$ дБ;
- предел погрешности ИОШТ используемого ГШ принимается равным $\Delta ENR = 0,13$ дБ;
- температура, при которой проводились измерения T , принимается равной 298 К;
- сумма погрешности термометра и отличия температуры окружающей среды от стандартной температуры ΔT , принимается равной 9 К;
- ПГ измерения КП $|S_{21}^{ИУ}|$ для набора мер коаксиального волновода, рассчитываемой, дБ, по формуле согласно таблице 11 в диапазоне 0,1–18 ГГц для НКММ, при этом в качестве $|S_{ух}|$ следует подставлять значение минус 10 дБ (или 0,31623 отн. ед.), т.к. при измерении S-параметров предполагается обеспечение уровня измеряемой мощности на порту 2 АЦ минус 10 дБ/мВт путем установки соответствующего уровня мощности

¹⁾ Величина Y в простейшем случае связана, отн. ед., с КШ исследуемого устройства F , имеющего КП G , по формуле $F = (1 + Y \cdot ENR)/G$, где ENR – ИОШТ ГШ, отн. ед.

генератора и включения аттенуаторов.

10.11.3 Из исходных данных по нижеприведенным формулам произвести расчет бюджета погрешности и погрешность измерения КШ относительно ГШ при учете отражения от ГШ и от шумового приемника.

10.11.4 Расчет составляющей погрешности измерений КШ, обусловленной погрешностью измерения $|S_{21}|$ ИУ, отн. ед., определить по формуле (19):

$$\Delta F_G = -F_{ИУ}[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,1 \cdot |\Delta G_{ИУ}|[\text{дБ}]} - 1), \quad (19)$$

где $\Delta G_{ИУ}$ – предел погрешности измерения КП ИУ, рассчитывается, дБ, по формуле (20):

$$\Delta G_{ИУ} = 10 \cdot \lg(1 + 2 \cdot |\Delta S_{21}^{ИУ}| / |S_{21}^{ИУ}|) \quad (20)$$

где $|\Delta S_{21}^{ИУ}|$ и $|S_{21}^{ИУ}|$ – в отн. ед.; в свою очередь

$$F_{ИУ}[\text{отн. ед.}] = 10^{0,1 \cdot F_{ИУ}[\text{дБ}]}, \quad (21)$$

$$|S_{21}^{ИУ}|[\text{отн. ед.}] = 10^{0,05 \cdot G_{ИУ}[\text{дБ}]}, \quad (22)$$

$$|\Delta S_{21}^{ИУ}|[\text{отн. ед.}] = |S_{21}^{ИУ}|[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,05 \cdot |\Delta S_{21}^{ИУ}|[\text{дБ}]} - 1). \quad (23)$$

10.11.5 Составляющую погрешности измерения КШ из-за погрешности ИОШТ ГШ ΔF_{ENR} определять, отн. ед., по формуле (24):

$$\Delta F_{ENR} = F_{ИУ}[\text{отн. ед.}] \cdot Z[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,1 \cdot \Delta ENR[\text{дБ}]} - 1), \quad (24)$$

где Z – вспомогательный коэффициент, вычисляемый, отн. ед. (здесь и далее, если не указано иное), по формуле (25):

$$Z = \left(1 - \frac{\bar{M}}{|S_{21}^{ИУ}|^2 \cdot F_{ИУ}}\right), \quad (25)$$

где \bar{M} – математическое ожидание коэффициента рассогласования, отн. ед. (здесь и далее, если не указано иное), вычисляемое по формуле (26):

$$\bar{M} = ((1 - |S_{22}^{ИУ}| \cdot |S_{11}^{P4}|)^2 + (1 + |S_{22}^{ИУ}| \cdot |S_{11}^{P4}|)^2) / 2 \quad (26)$$

10.11.6 Расчет составляющей, обусловленной погрешностью измерения отношения Y , ΔF_Y , отн. ед., провести по формуле (27):

$$\Delta F_Y = F_{ИУ}[\text{отн. ед.}] \cdot Z[\text{отн. ед.}] \cdot \frac{\Delta Y[\text{отн. ед.}]}{Y[\text{отн. ед.}]}, \quad (27)$$

где Y – рассчитывается, отн. ед., по формуле (28):

$$Y = \frac{1}{ENR[\text{отн. ед.}]} \left(\frac{F_{ИУ}[\text{отн. ед.}] G_{ИУ}[\text{отн. ед.}]}{\bar{M}[\text{отн. ед.}]} - 1 \right) \quad (28)$$

где $ENR[\text{отн. ед.}] = 10^{0,1 \cdot ENR[\text{дБ}]}$,
а ΔY , отн. ед., по формуле (29):

$$\Delta Y = 1,1\sqrt{(\Delta Y_{\text{нел}}[\text{отн. ед.}])^2 + (\Delta Y_T[\text{отн. ед.}])^2} \quad (29)$$

где ΔY_T - составляющая, вызванная отличием температуры окружающей среды от стандартной температуры T_0 (293 К), а также погрешностью термометра, рассчитывается, отн. ед., по формуле (30):

$$\Delta Y_T = -\frac{(F_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}] - 1) \cdot G_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}]}{M[\text{отн. ед.}] \cdot ENR[\text{отн. ед.}]} \cdot \frac{\Delta T[\text{К}]}{T[\text{К}] + \Delta T[\text{К}]}, \quad (30)$$

а $\Delta Y_{\text{нел}}$ рассчитывается, отн. ед., по формуле (31):

$$\Delta Y_{\text{нел}} = Y[\text{отн. ед.}] \cdot (10^{0,1 \cdot \Delta Y_{\text{нел}}[\text{дБ}]} - 1) \quad (31)$$

10.11.7 За предел составляющей погрешности измерений из-за рассогласования выхода ИУ и входа порта 2 АЦ $\Delta F_{M \text{ max}}$ для КСВН_{Р4} ≤ 2,35 и $|S_{22}^{\text{ИУ}}| \leq 0,259$ отн. ед. допускается принять значение 53,577 отн. ед.

10.11.8 Найти верхнюю $\Delta F_{1+}^{\text{ИУ}}$ и нижнюю $\Delta F_{1-}^{\text{ИУ}}$ доверительные границы погрешности $\Delta F_1^{\text{ИУ}}$, дБ, для вероятности 0,95, по формуле (32):

$$\Delta F_{1\pm}^{\text{ИУ}} = 10 \cdot \lg \left(1 \pm \frac{1,1}{F_{\text{ИУ}}[\text{отн. ед.}]} \cdot \sqrt{\Delta F_G^2[\text{отн. ед.}] + \Delta F_{ENR}^2[\text{отн. ед.}] + (1/1,1)^2 \Delta F_Y^2[\text{отн. ед.}] + \Delta F_{M \text{ max}}^2[\text{отн. ед.}]} \right).$$

10.11.9 Повторить расчеты для $\Delta ENR = 0,40$ дБ.

10.11.10 Результат поверки считать положительным, если полученные значение $\Delta F_1^{\text{ИУ}}$ соответствуют таблице 12.

Таблица 12 – Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений КШ (для ИУ с КСВН не более 1,7) в диапазоне от 0,1 до 26,5 ГГц, ИОШТ генератора шума (ГШ) 15 дБ в зависимости от пределов погрешности (ПГ) ИОШТ ГШ

Наборы мер	Пределы погрешности ИОШТ ГШ, дБ	$\Delta F_1^{\text{ИУ}}$, дБ
НКММ	±0,13	от -0,27 до +0,26
	±0,40	от -0,50 до +0,45
ЭК	±0,13	от -0,31 до +0,29
	±0,40	от -0,52 до +0,47
НКМВ	±0,13	от -0,29 до +0,27
	±0,40	от -0,51 до +0,45

П р и м е ч а н и е – Указанные пределы погрешности ΔF получены для конкретных значений пределов погрешности ИОШТ ГШ, используемого при измерениях КШ исследуемого устройства, и представляют собой доверительные границы НСП (для вероятности 0,95), рассчитанные согласно МИ 2083-90; для других значений пределов погрешности ИОШТ ГШ значения ΔF следует пересчитывать. Пределы ΔF справедливы после проведения пользовательской калибровки коэффициента шума, без учета потери ее актуальности с течением времени.

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1 АЦ признается годным, если в ходе поверки все результаты поверки положительные.

11.2 Сведения о результатах поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

11.3 При положительных результатах поверки по заявлению владельца АЦ или лица, предъявившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке.

11.4 На основании письменного заявления владельца АЦ допускается проводить периодическую поверку в ограниченной полосе рабочего диапазона частот, которые используются при эксплуатации по соответствующим пунктам настоящей методики поверки. Данные ограничения должны быть зафиксированы при оформлении результатов поверки.

11.5 АЦ, имеющий отрицательные результаты поверки, в обращение не допускается. На него выдается извещение о непригодности к применению с указанием причин забракования по установленной форме.

Начальник НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

Заместитель начальника отдела 11
НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

Старший научный сотрудник лаборатории 113
НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»



О.В. Каминский

А.С. Бондаренко

А.С. Боровков