

СОГЛАСОВАНО

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

 А.Н. Щипунов

 2021 г.



**Государственная система обеспечения единства измерений**

**Измерители комплексных коэффициентов отражения и передачи  
Р4-МВМ-178**

**МЕТОДИКА ПОВЕРКИ**

**651-21-024 МП**

р.п. Менделеево  
2021 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

1	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....	3
2	ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	3
3	ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ.....	4
4	ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ .....	4
5	МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ....	5
6	ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ .....	5
7	ВНЕШНИЙ ОСМОТР .....	6
8	ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	6
9	ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	8
10	ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .	8
11	ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ .....	15
12	ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ .....	18

## 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на измерители комплексных коэффициентов отражения и передачи Р4-МВМ-178 (далее – измерители), изготавливаемые ООО НПЦ «МитиноПрибор», г. Москва, и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверок.

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

1.3 При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость поверяемых измерителей:

- к государственному первичному эталону единиц времени, частоты и национальной шкалы времени (ГЭТ 1-2018) в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты, утвержденной приказом Росстандарта от 31 июля 2018 г. № 1621;

- к государственному первичному эталону единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 20 Гц до 178 ГГц (ГЭТ 193-2011) в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений ослабления напряжения постоянного тока и электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 20 Гц до 178,4 ГГц, утвержденной приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. № 3383.

1.4 Поверка измерителей 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 измерители и на используемое при поверке оборудование. Методика поверки реализуется посредством методов прямых измерений.

1.6 При проведении поверки допускается задавать иные значения измеряемых величин, относительно указанных в разделе 10.

1.7 Интервал между поверками 1 год.

## 2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При проведении поверки измерителей должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 - Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта методики	Проведение операций при	
		первичной поверке	периодической поверке
1 Внешний осмотр	7	да	да
2 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	8	да	да
3 Проверка программного обеспечения средства измерений (далее – ПО)	9	да	да
4 Определение метрологических характеристик средства измерений	10	да	да
4.1 Определение коэффициента стоячей волны по напряжению (далее - КСВН) волноводного СВЧ выхода блока измерительного (далее – БИ)	10.1	да	да

Продолжение таблицы 1

Наименование операции	Номер пункта методики	Проведение операций при	Проведение операций при
		первичной поверке	первичной поверке
4.2 Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала при работе от внутреннего опорного генератора	10.2	да	да
4.3 Определение нестабильности частоты выходного сигнала за любой 15-ти минутный интервал после установления рабочего режима	10.3	да	да
4.4 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения $ S_{11} $	10.4	да	да
4.5 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи $ S_{21} $	10.5	да	да
4.6 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения $\arg S_{11}$	10.6	да	да
4.7 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи $\arg S_{21}$	10.7	да	да
5 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	11	да	да

2.2 Допускается проведение поверки меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений, которые используются при эксплуатации по соответствующим пунктам настоящей методики поверки. Соответствующая запись должна быть сделана в свидетельстве о поверке на основании заявления владельца измерителя.

2.3 При получении отрицательных результатов по любому пункту таблицы 1 поверяемый измеритель бракуется и направляется в ремонт.

### 3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться нормальные условия:

- температура окружающего воздуха, °С (К) от плюс 15 до плюс 25 (от 288 до 298);
- относительная влажность окружающего воздуха, % от 50 до 80;
- атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.) от 96 до 104 (от 720 до 780);
- напряжение питания от сети переменного тока, В от 187 до 242.

### 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 имеющим квалификационную группу электробезопасности не ниже второй.

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен предварительно ознакомиться с документами ГЛЮИ.411228.022 РЭ «Измеритель комплексных коэффициентов отражения и передачи Р4-МВМ-178. Руководство по эксплуатации» (далее – ГЛЮИ.411228.022 РЭ) и ГЛЮИ.411228.022 ФО «Измеритель комплексных коэффициентов отражения и передачи Р4-МВМ-178. Формуляр» (далее – ГЛЮИ.411228.022 ФО).

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 2.

Таблица 2 - Перечень средств поверки

Номер пункта методики поверки	Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
10.1	Анализатор электрических цепей векторный ZVA67: диапазон рабочих частот от 10 МГц до 67 ГГц, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения $\pm 0,4$ дБ
10.1	Модули расширения частотного диапазона анализаторов электрических цепей векторных ZVA-Z170 и ZC220: диапазон рабочих частот от 110 до 220 ГГц, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения $\pm 0,05$ дБ
10.2, 10.3	Частотомер универсальный CNT-90XL: диапазон измерения частоты сигнала от 0,001 Гц до 300 МГц, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений частоты $\pm 2 \cdot 10^{-9}$
10.2, 10.3	Стандарт частоты рубидиевый FS 725: номинальные значения воспроизводимых частот: 5, 10 МГц, пределы допускаемой относительной погрешности воспроизводимых частот $\pm 5 \cdot 10^{-11}$
10.4, 10.5	Аттенюатор поляризационный АП-19: диапазон частот от 118,1 до 178,3 ГГц, диапазон измерений ослабления от 0 до 60 дБ, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений ослабления $\pm 0,02 \cdot A$ дБ, где А – значение ослабления
Вспомогательные средства поверки	
10.6, 10.7	Меры фазового сдвига
10.1 – 10.5	Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7: диапазон измерений относительной влажности, от 0 до 99 %; пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений относительной влажности $\pm 2,0$ %; диапазон измерений температуры от минус 45 °С до плюс 60 °С; пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры $\pm 0,5$ °С в диапазоне от минус 45 °С до минус 20 °С; $\pm 0,2$ °С в диапазоне св. плюс 20 °С до плюс 60 °С; диапазон измерений абсолютного давления от 840 до 1060 гПа; пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений абсолютного давления $\pm 3$ гПа

5.2 Допускается использовать аналогичные средства поверки, обеспечивающие определение метрологических характеристик с требуемой точностью.

5.3 Применяемые средства поверки должны быть исправны и поверены, применяемые средства поверки утверждённого типа СИ в качестве эталонов единиц величин должны быть исправны и поверены с присвоением соответствующего разряда, по требованию государственных поверочных схем.

## 6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки необходимо соблюдать требования безопасности, регламентируемые правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденными приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 № 903н, а также требования безопасности, приведённые в эксплуатационной документации на измерители и средства поверки.

6.2 Средства поверки должны быть надежно заземлены в соответствии с

эксплуатационной документацией.

6.3 Размещение и подключение измерительных приборов разрешается производить только при выключенном питании.

#### 6.4 **ВНИМАНИЕ:**

– ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ИЗМЕРИТЕЛЯ ВИРТУАЛЬНАЯ КНОПКА «МОЩНОСТЬ» НАХОДИТСЯ В ПОЛОЖЕНИИ «ВЫКЛ»;

– ПЕРЕД КАЖДЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ КОНФИГУРАЦИИ ВНЕШНЕГО СВЧ ТРАКТА ИЗМЕРИТЕЛЯ (КАЛИБРОВКОЙ, ИЗМЕРЕНИЕМ) ВИРТУАЛЬНУЮ КНОПКУ «МОЩНОСТЬ» НЕОБХОДИМО УСТАНОВЛИВАТЬ В ПОЛОЖЕНИЕ «ВЫКЛ»;

– ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КОНФИГУРАЦИИ СВЧ ТРАКТА ВИРТУАЛЬНУЮ КНОПКУ «МОЩНОСТЬ» УСТАНОВИТЬ В ПОЛОЖЕНИЕ «ВКЛ».

### 7 **ВНЕШНИЙ ОСМОТР**

7.1 Внешний осмотр измерителей проводить визуально без вскрытия, при этом необходимо проверить:

– комплектность, маркировку и пломбировку (наклейку) на соответствие документам ГЛЮИ.411228.022 РЭ и ГЛЮИ.411228.022 ФО;

– чистоту и исправность разъемов и гнезд;

– отсутствие видимых повреждений, влияющих на работоспособность измерителя.

7.2 Результаты внешнего осмотра считать положительным, если:

– комплект поставки, маркировка и пломбировка (наклейка) соответствуют документам ГЛЮИ.411228.022 РЭ, ГЛЮИ.411228.022 ФО;

– разъемы целы и чисты;

– отсутствуют видимые повреждения, влияющие на работоспособность измерителя.

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

### 8 **ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

8.1 Перед проведением поверки необходимо произвести подготовительные работы, в соответствии с документом ГЛЮИ.411228.022 РЭ и эксплуатационной документацией на средства поверки.

8.2 Опробование провести в следующей последовательности.

8.2.1 Соединить клемму заземления , находящуюся на задней панели, с шиной защитного заземления.

**Примечание** - Клемму защитного заземления следует отсоединять после отключения измерителя от сети питания и от других приборов.

8.2.2 Установить тумблер СЕТЬ «О I», находящийся на задней панели, в положение «О» – отключено.

8.2.3 Подсоединить кабель сетевого питания к разъему «~230 В, 50 Гц».

8.2.4 Подключить кабель сетевого питания к сети питания переменного тока (230 В, 50 Гц).

8.2.5 Подсоединить устройство графического управления «мышь» к соответствующему разъему на задней панели корпуса блока измерительного из состава измерителя (далее – БИ).

8.2.6 Соединить разъемы «VGA» и «МОНИТОР» между собой кабелем из комплекта измерителя.

8.2.7 Подключить выход преобразователя выносного из состава измерителя (далее – ПВ) к разъему «Преобразователь», расположенному на задней панели БИ, соединительным кабелем.

8.2.8 Подсоединить отрезок волновода фланцем, не содержащим резьбы в отверстиях, предназначенных для крепления четырьмя винтами, к СВЧ входу ПВ, как показано на рисунке 1.

8.2.9 Подсоединить отрезок волновода с круглыми фланцами, как показано на рисунке 1

к СВЧ выходу БИ, расположенному на правой боковой панели.

8.2.10 Установить тумблер СЕТЬ «О I» в положение «I» – включено.

8.2.11 Нажать кнопку включения/выключения сетевого питающего напряжения «», расположенную на передней панели БИ. При этом проконтролировать включение индикатора подключения сетевого питающего напряжения «».

8.2.12 Наблюдать автоматический запуск ПО, которое записано в память БИ изготовителем.

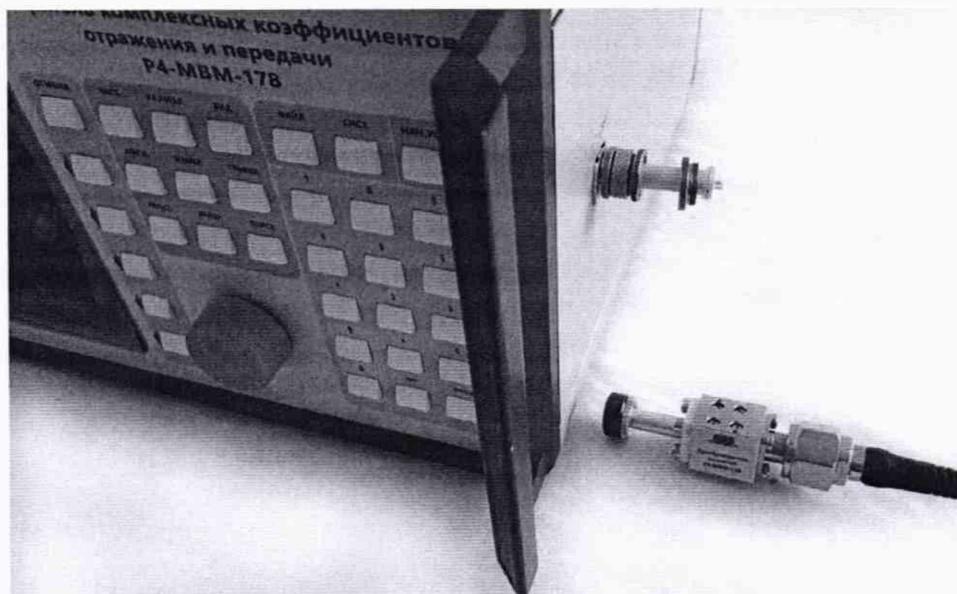


Рисунок 1 – Подключение ПВ к БИ измерителя

8.2.13 По окончании запуска ПО контролировать появление на экране дисплея БИ окна, приведенного на рисунке 2.

8.2.14 Убедиться в том, что все виртуальные кнопки и органы управления, расположенные на передней панели БИ, функционируют.

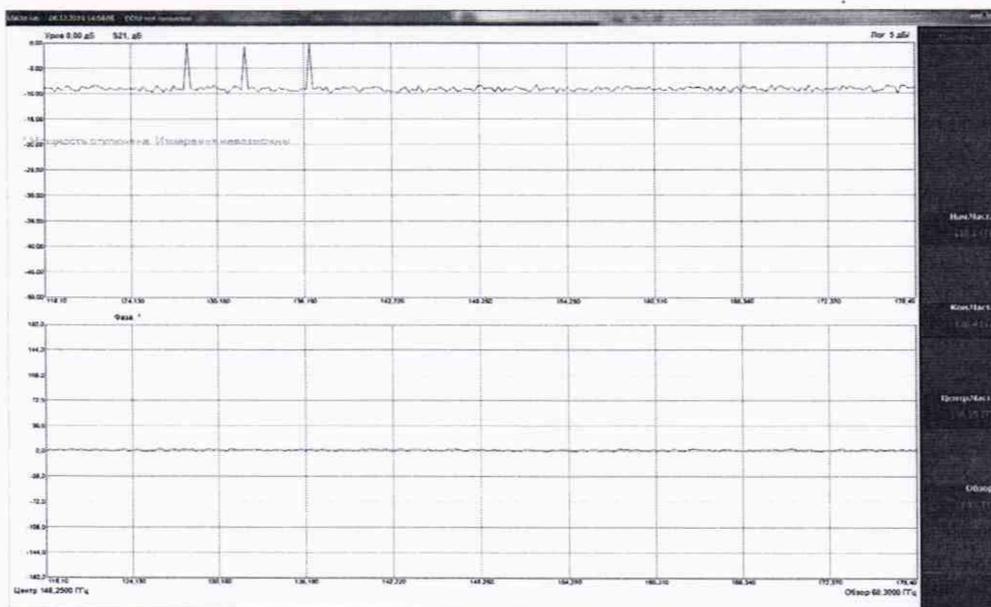


Рисунок 2 - Окно готовности измерителя к использованию

8.3 Результаты опробования считать положительными, если:

- после включения питания и нажатия кнопки включения/выключения сетевого

питающего напряжения «» загорается индикатор подключения сетевого питающего напряжения на передней панели корпуса БИ;

- по окончании запуска ПО на экране дисплея наблюдалось окно, отображенное на рисунке 2;

- все виртуальные кнопки и органы управления, расположенные на передней панели БИ, функционируют.

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

## **9 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

9.1 Проверку ПО выполнить в следующей последовательности:

9.1.1 Выполнить операции п.п. 8.2.1 – 8.2.14.

9.1.2 Последовательно нажать виртуальные кнопки «Пуск» и «Мой компьютер» на экране дисплея БИ.

9.1.3 Выбрать на диске С папку VNA;

9.1.4 Выбрать файл «VNAWindow.exe» и нажать правую кнопку «мышки», в появившемся окне нажать виртуальную кнопку «Свойства»;

9.1.5 В появившемся окне выбрать закладку «Подробно»;

9.1.6 В появившемся окне в строке «Версия файла» наблюдать идентификационные данные ПО.

9.1.7 Сравнить идентификационные данные ПО с данными, указанными в таблице 3.

Таблица 3 - Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	VNAWindow.exe
Номер версии (идентификационный номер) ПО	не ниже 1.0.0.0
Цифровой идентификатор ПО	-
Алгоритм вычисления идентификатора ПО	CRC32

9.2 Результаты поверки считать положительными, если идентификационное наименование ПО, номер версии (идентификационный номер) ПО, цифровой идентификатор ПО, алгоритм вычисления цифрового идентификатора ПО соответствуют данным, приведенным таблице 3.

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

## **10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

### **10.1 Определение диапазона рабочих частот и КСВН волноводного СВЧ выхода БИ**

10.1.1 Определение диапазона частот и КСВН волноводного СВЧ выхода БИ выполнить в следующей последовательности.

10.1.1.1 Подготовить анализатор электрических цепей векторный ZVA-67 (далее – анализатор цепей) и модули расширения частотного диапазона анализаторов электрических цепей векторных ZVA-Z170 и ZC220 (далее – модули расширения частоты ZVA-Z170 и ZC220) к измерению КСВН согласно руководства по эксплуатации на них (прогреть, настроить, провести калибровку).

10.1.1.2 Подготовить измеритель к работе, выполнив операции п.п. 8.2.1 - 8.2.6.

10.1.1.3 Соединить СВЧ выход  БИ со входом модуля расширения частоты ZVA-Z170, используя волноводно-волноводный переход «WR-06» – «1,6 x 0,8 мм».

10.1.1.4 Провести измерение КСВН на частотах, представленных в таблице 4, кроме 178,4 ГГц. Результат измерений занести в таблицу 4.

10.1.1.5 Соединить СВЧ выход  $\ominus$  БИ со входом модуля расширения частоты ZC220, используя волноводно-волноводный переход «WR-05» – «1,6 x 0,8 мм», и произвести измерение КСВН на частоте 178,4 ГГц. Результат измерений занести в таблицу 4.

10.1.1.6 Результат измерений занести в таблицу 4 и зафиксировать в протоколе.

Таблица 4 – Значения частот измерения КСВН волноводного СВЧ выхода БИ.

Частота, ГГц	118,1	130	140	150	160	178,4
КСВН						

## 10.2 Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала при работе от внутреннего опорного генератора (при условии калибровки не реже одного раза в год)

10.2.1 Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала при работе от внутреннего опорного генератора выполнить в следующей последовательности.

10.2.1.1 Подготовить измеритель к работе, выполнив операции п.п. 8.2.1 - 8.2.6.

10.2.1.2 Собрать рабочее место в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3.

10.2.1.3 Подготовить частотомер универсальный CNT-90XL (далее – частотомер) и стандарт частоты рубидиевый FS 725 (далее – стандарт частоты) к работе в соответствии с их эксплуатационной документацией.

10.2.1.4 Установить на БИ тумблер СЕТЬ «О I» в положения «I» – включено, при этом проконтролировать включение индикатора подключения сетевого питающего напряжения на передней панели корпуса БИ. Прогреть измеритель в течение не менее 25 минут.

10.2.1.5 Соединить BNC-разъем выхода 100 МГц опорного генератора, расположенный на задней панели измерителя, с измерительным входом частотомера.

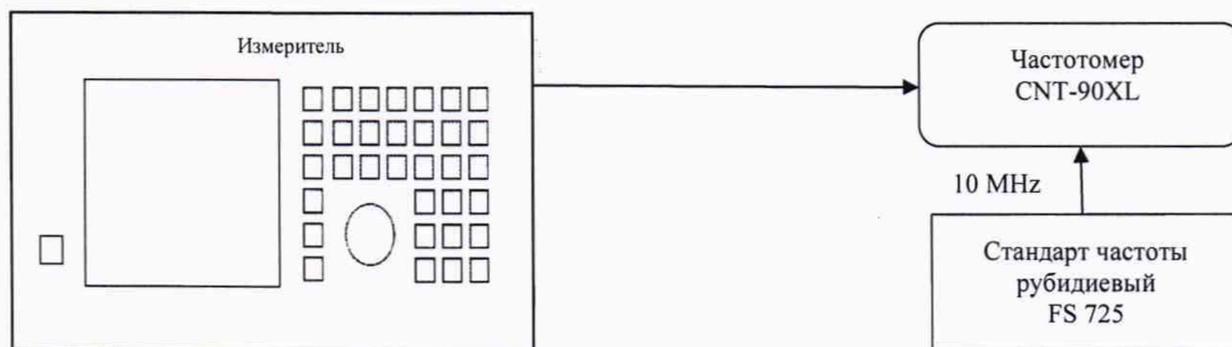


Рисунок 3 – Схема определения частоты выходного сигнала

10.2.1.6 Установить на частотомере режим работы от внешнего источника посредством подключения выхода 10 МГц стандарта частоты к входу 10 MHz Ref in частотомера, расположенному на задней панели частотомера.

10.2.1.7 Выполнить измерение значения частоты опорного генератора измерителя. Результат измерений  $f_{ог}$  зафиксировать в протоколе поверки.

10.2.2 Результаты измерений занести в протокол.

## 10.3 Определение нестабильности частоты выходного сигнала за любой 15-ти минутный интервал после установления рабочего режима

10.3.1 Определение нестабильности частоты выходного сигнала за любой 15-ти минутный интервал после установления рабочего режима выполнить в следующей последовательности.

10.3.1.1 Подготовить измеритель к работе, выполнив операции п.п. 8.2.1 - 8.2.6.

10.3.1.2 Собрать схему измерений, приведенную на рисунке 3.

10.3.1.3 Подготовить частотомер и стандарт частоты к работе в соответствии с их эксплуатационной документацией.

10.3.1.4 Установить на БИ тумблер СЕТЬ «О I» в положения «I» – включено, при этом проконтролировать включение индикатора подключения сетевого питающего напряжения на передней панели корпуса БИ. Прогреть измеритель в течение не менее 25 минут.

10.3.1.5 Соединить BNC-разъем выхода 100 МГц опорного генератора, расположенный на задней панели измерителя, с измерительным входом частотомера.

10.3.1.6 Установить на частотомере режим работы от внешнего источника посредством подключения выхода 10 МГц стандарта частоты к входу 10 MHz Ref in частотомера, расположенному на задней панели частотомера.

10.3.1.7 Выполнить измерение значения частоты с выхода «Генератор опорный 100 МГц  $\ominus$ » с периодом 1 минуты в течение промежутка времени  $t = 15$  мин. Результат измерений зафиксировать в протоколе поверки.

10.3.1.8 Из полученных результатов измерений выбрать максимальное значение частоты  $f_{\max}$  и минимальное значение частоты  $f_{\min}$ .

10.3.2 Результаты измерений зафиксировать в протоколе.

#### 10.4 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$

10.4.1 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$  выполнить в следующей последовательности.

10.4.1.1 Подготовить измеритель к работе, выполнив операции п.п. 8.2.1 - 8.2.6.

10.4.1.2 Подготовить к работе аттенюатор в соответствии с эксплуатационной документацией.

10.4.1.3 Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 4.

10.4.1.4 Соединить выход СВЧ  $\ominus$  БИ со входом аттенюатора.

10.4.1.5 К выходу аттенюатора подключить нагрузку короткозамкнутую из состава измерителя.

10.4.1.6 Установить на аттенюаторе ослабление 0 дБ.

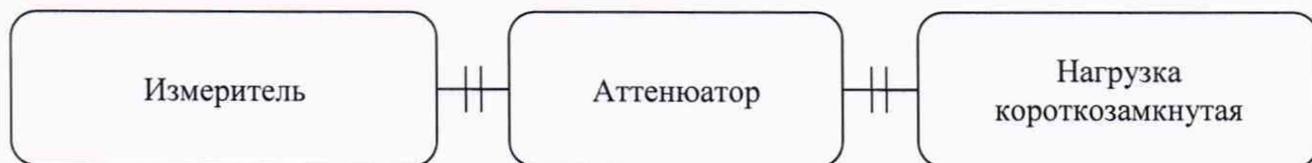


Рисунок 4 – Схема определения диапазона и абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$

10.4.1.7 Подготовить измеритель к измерениям модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$ .

10.4.1.8 Провести калибровку параметра  $|S_{11}|$  измерителя согласно эксплуатационной документации. Установить режим и пределы отображения коэффициента отражения  $|S_{11}|$ .

10.4.1.9 Установить на аттенюаторе значения ослабления равными 7,78; 4,77 и 1,76 дБ, которые соответствуют значениям КСВН 1,4; 2,0 и 5,0.

10.4.1.10 Провести измерения, используя маркеры, на частотах 118,1; 130,0; 140,0; 150,0; 160,0 и 178,4 ГГц. Полученные значения занести в протокол поверки.

10.4.1.11 Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 5 и зафиксировать в протоколе.

Таблица 5 - Значения частот и пределов допускаемой погрешности модуля коэффициента отражения  $\Delta_{|S_{21}|}$

Частота, ГГц	КСВН	Значения модуля коэффициента отражения, дБ		Абсолютная погрешность измерений модуля коэффициента отражения, дБ	
		показания измерителя	$\Delta_{ S_{11} } =  S_{11изм} - S_{11ном} $	допускаемое значение*	
1	2	3	4	5	
118,1	1,4			±1,84	
	2,0			±1,46	
	5,0			±0,98	
130,0	1,4			±1,84	
	2,0			±1,46	
	5,0			±0,98	
140,0	1,4			±1,84	
	2,0			±1,46	
	5,0			±0,98	
150,0	1,4			±1,84	
	2,0			±1,46	
	5,0			±0,98	
160,0	1,4			±1,84	
	2,0			±1,46	
	5,0			±0,98	
178,4	1,4			±1,84	
	2,0			±1,46	
	5,0			±0,98	

\* Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$  рассчитываются по формуле  $\pm(0,7 + 0,08|S_{11}|)$  дБ, где  $S_{11}$  - значения обратных потерь, дБ, рассчитанные для значений КСВН

### 10.5 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи $|S_{21}|$

10.5.1 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи  $|S_{21}|$  выполнить в следующей последовательности.

10.5.1.1 Подготовить измеритель к работе, выполнив операции п.п. 8.2.1 - 8.2.6.

10.5.1.2 Подготовить к работе аттенюатор в соответствии с эксплуатационной документацией.

10.5.1.3 Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 5.

10.5.1.4 Соединить выход СВЧ  $\ominus$  БИ со входом аттенюатора.

10.5.1.5 Подключить выход ПВ к разъему «Преобразователь», расположенному на задней панели измерителя, соединительным кабелем.

10.5.1.6 Соединить выход аттенюатора с СВЧ входом ПВ;

10.5.1.7 Установить на аттенюаторе ослабление 0 дБ.

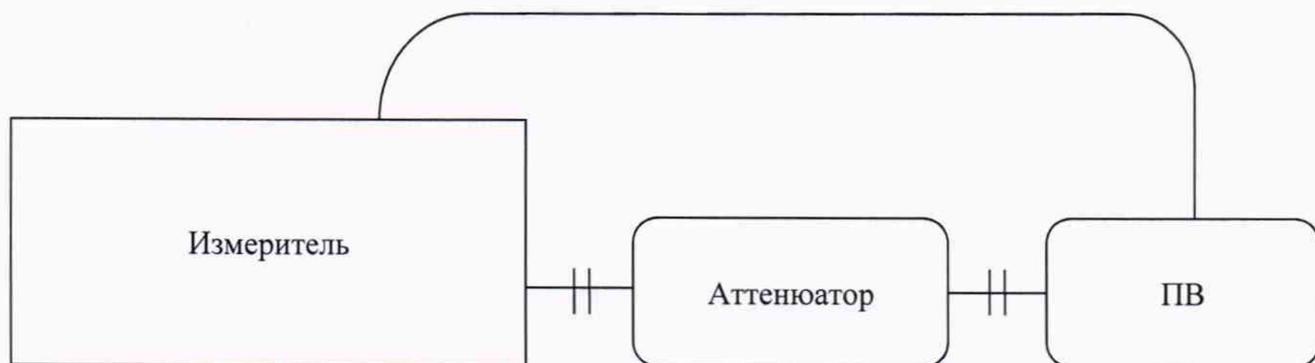


Рисунок 5 – Схема определения диапазона и абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи  $|S_{21}|$

10.5.1.8 Подготовить измеритель к измерениям модуля коэффициента передачи  $|S_{21}|$ .

10.5.1.9 Провести калибровку параметра  $|S_{21}|$  измерителя согласно эксплуатационной документации. Установить режим и пределы отображения коэффициента передачи  $|S_{21}|$ .

10.5.1.10 Устанавливая на аттенюаторе значения ослабления  $|S_{21}|$ , 1; 5; 10; 20; 30 и 40 дБ, провести измерения модуля коэффициента передачи  $|S_{21}|$  на частотах 118,1; 130,0; 140,0; 150,0; 160,0 и 178,4 ГГц;

10.5.1.11 Результаты измерений занести в таблицу 6 и зафиксировать в протоколе.

Таблица 6 - Значения частот и пределов допускаемой погрешности измерений модуля коэффициента передачи  $\Delta_{|S_{21}|}$

Установленное значение модуля коэффициента передачи $ S_{21} _э$ , дБ	Частота, ГГц	Измеренное значение модуля коэффициента передачи $ S_{21} _и$ , дБ	Рассчитанное значение абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи $\Delta_{ S_{21} }$ , дБ	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения модуля коэффициента передачи $ S_{21} $ , дБ*
1	2	3	4	5
1	118,1			±0,57
	130,0			
	140,0			
	150,0			
	160,0			
	178,4			
5	118,1			±0,85
	130,0			
	140,0			
	150,0			
	160,0			
	178,4			
10	118,1			±1,20
	130,0			
	140,0			
	150,0			
	160,0			
	178,4			

Продолжение таблицы 6

Установленное значение модуля коэффициента передачи $ S_{21} _э$ , дБ	Частота, ГГц	Измеренное значение модуля коэффициента передачи $ S_{21} _и$ , дБ	Рассчитанное значение абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи $\Delta S_{21} $ , дБ	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения модуля коэффициента передачи $ S_{21} $ , дБ*
20	118,1			±1,90
	130,0			
	140,0			
	150,0			
	160,0			
	178,4			
30	118,1			±2,60
	130,0			
	140,0			
	150,0			
	160,0			
	178,4			
40	118,1			±3,30
	130,0			
	140,0			
	150,0			
	160,0			
	178,4			

\* Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи  $|S_{21}|$  рассчитываются по формуле  $\pm(0,5 + 0,07|S_{21}|)$  дБ, где  $|S_{21}|$  - значения обратных потерь, дБ, рассчитанные для значений КСВН

### 10.6 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения $\arg S_{11}$

10.6.1 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения  $\arg S_{11}$  проводить путем изменения электрической длины тракта при помощи меры фазового сдвига или отрезка волновода известной длины. Выполнить операции в следующей последовательности.

10.6.1.1 Подготовить измеритель к работе, выполнив операции п.п. 8.2.1 - 8.2.6.

10.6.1.2 Подготовить меру фазового сдвига.

10.6.1.3 Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 6.

10.6.1.4 Выполнить калибровку параметра  $|S_{11}|$  измерителя согласно эксплуатационной документации.

10.6.1.5 Присоединить к выходу СВЧ  $\ominus$  БИ меру фазового сдвига.

10.6.1.6 Замкнуть меру фазового сдвига, используя нагрузку короткозамкнутую из состава измерителя.

10.6.1.7 Установить на измерителе начальную частоту  $f_1 = 117$  ГГц, конечную частоту  $f_2 = 119$  ГГц. Установить режим и пределы отображения фазы коэффициента отражения  $\arg S_{11}$ .

10.6.1.8 Провести измерения фазы коэффициента отражения  $\arg S_{11}$  на частоте 118,1 ГГц, используя маркеры, при этом наблюдать за фазо-частотной характеристикой меры фазового сдвига, в виде пилообразной кривой, принимающей значения от минус  $180^\circ$  до плюс  $180^\circ$  по оси ординат.

10.6.1.9 Результаты измерений занести в таблицу 7 и зафиксировать в протоколе.

Таблица 7 - Значения частот и пределы допускаемой погрешности измерений фазы коэффициента отражения  $\arg S_{11}$

Частота, ГГц	Значение фазового сдвига $\arg S_{11}$ , воспроизводимого мерами, градус	Измеренное значение $\arg S_{11}$ , градус	Абсолютная погрешность измерений фазы коэффициента отражения $\Delta_{\arg S_{11}}$ , градус	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения $\arg S_{11}$ , градус
1	2	3	4	5
118,1				$\pm(8+0,1 S_{11} )$
150,0				
178,4				

где  $S_{11}$  – измеренное значение модуля коэффициента отражения

10.6.1.10 Повторить операции п.п. 10.6.1.8 - 10.6.1.9 для значений частот 118,1; 150,0 и 178,4 ГГц выбирая полосу обзора не более 2 ГГц.

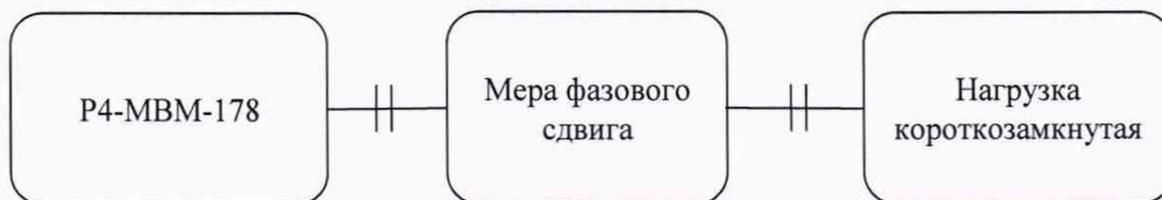


Рисунок 6 – Схема определения диапазона и абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения  $\arg S_{11}$

10.6.2 Результаты измерений зафиксировать в протоколе.

## 10.7 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи $\arg S_{21}$

10.7.1 Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи  $\arg S_{21}$  проводить путем изменения электрической длины тракта при помощи меры фазового сдвига или отрезка волновода известной длины. Выполнить операции в следующей последовательности.

- 10.7.1.1 Подготовить измеритель к работе, выполнив операции п.п. 8.2.1 - 8.2.6.
- 10.7.1.2 Подготовить меру фазового сдвига.
- 10.7.1.3 Выполнить калибровку параметра  $|S_{21}|$  измерителя согласно эксплуатационной документации.
- 10.7.1.4 Собрать схему измерений в соответствии с рисунком 7.
- 10.7.1.5 Присоединить к выходу СВЧ  $\ominus$  БИ меру фазового сдвига.
- 10.7.1.6 Противоположный выход меры фазового сдвига соединить с СВЧ входом ПВ.
- 10.7.1.7 Подключить выход ПВ к разъему «Преобразователь», расположенному на задней панели измерителя, соединительным кабелем.
- 10.7.1.8 Установить на измерителе начальную частоту  $f_1 = 117$  ГГц, конечную частоту  $f_2 = 119$  ГГц. Установить режим и пределы отображения фазы коэффициента передачи  $\arg S_{21}$ .
- 10.7.1.9 Провести измерения фазы коэффициента передачи  $\arg S_{21}$  и на частоте 118,1 ГГц, используя маркеры, при этом наблюдать за фазочастотной характеристикой меры фазового сдвига, в виде пилообразной кривой, принимающей значения от минус  $180^\circ$  до плюс  $180^\circ$  по оси ординат.
- 10.7.1.10 Результаты измерений занести в таблицу 8 и зафиксировать в протоколе.

Таблица 8 - Значения частот и пределы допускаемой погрешности измерений фазы коэффициента передачи  $\arg S_{21}$

Частота, ГГц	Значение фазового сдвига $\arg S_{21}$ , воспроизводимого мерами, градус	Измеренное значение $\arg S_{11и}$ , градус	Значения абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи $\Delta_{\arg S_{21}}$ , градус	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи $\arg S_{21}$ , градус
1	2	3	4	5
118,1				$\pm(8+0,07 S_{21} )$
150,0				
178,4				

где  $S_{21}$  – измеренное значение модуля коэффициента передачи

10.7.1.11 Повторить операции п.п. 10.7.1.9 - 10.7.1.10 для значений частот 118,1; 150,0 и 178,4 ГГц выбирая полосу обзора не более 2 ГГц.

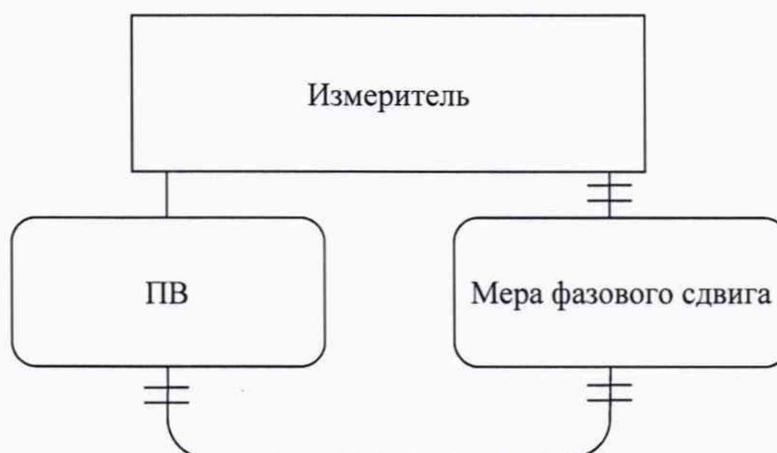


Рисунок 7 – Схема определения диапазона и абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи  $\arg S_{21}$

10.7.2 Результаты измерений зафиксировать в протоколе.

## 11 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

11.1 КСВН волноводного СВЧ выхода БИ определить методом прямых измерений и сравнения полученных результатов с нормированными значениями.

Результаты поверки считать положительными, если значения КСВН волноводного СВЧ выхода БИ в диапазоне частот от 118,1 до 178,4 ГГц не превысили допускаемого предела 1,4.

11.2 Относительную погрешность установки частоты выходного сигнала при работе от внутреннего опорного генератора  $\delta_{отн}$  вычислить по формуле (1):

$$\delta_{отн} = |f_{ОГ} - f_{ном}| / f_{ном}, \quad (1)$$

где  $f_{ОГ}$  – измеренное значение частоты, ГГц;

$f_{ном}$  – заданное значение частоты, ГГц.

Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности установки частоты выходного сигнала при работе от внутреннего опорного генератора находятся в допусках  $\pm 1 \cdot 10^{-7}$ .

11.3 Относительную нестабильность частоты выходного сигнала за 15-минутный промежуток времени  $\delta_H$  вычислить по формуле (2):

$$\delta_H = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{ном}}, \quad (2)$$

где  $f_{max}$  – максимальное значение частоты сигнала опорного генератора измерителя за время измерений, ГГц;

$f_{min}$  – минимальное значение частоты сигнала опорного генератора измерителя за время измерений, ГГц;

$f_{ном}$  – номинальное значение частоты равно 100 МГц.

Результаты поверки считать положительными, если значения относительной нестабильности частоты выходного сигнала за 15-минутный промежуток времени находятся в допусках  $\pm 2 \cdot 10^{-9}$ .

11.4 Абсолютную погрешность измерений модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$  вычислить по формуле (3):

$$\Delta_{|S_{11}|} = |S_{11}|_и - |S_{11}|_э, \quad (3)$$

где  $|S_{11}|_и$  – измеренное значение модуля коэффициента отражения, дБ;

$|S_{11}|_э$  – заданное значение модуля коэффициента отражения, дБ.

Результаты поверки считать положительными, если значения абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения  $\Delta_{|S_{11}|}$  в заданном диапазоне частот находятся в допусках, приведенных в графе 5 таблицы 5.

11.5 Абсолютную погрешность измерений модуля коэффициента передачи  $|S_{21}|$  вычислить по формуле (4):

$$\Delta_{|S_{21}|} = |S_{21}|_и - |S_{21}|_э, \quad (4)$$

где  $|S_{21}|_и$  – измеренное значение модуля коэффициента передачи, дБ;

$|S_{21}|_э$  – заданное значение модуля коэффициента передачи, дБ.

Результаты поверки считать положительными, если значения абсолютной погрешности измерения модуля коэффициента передачи  $|S_{21}|$  в заданном диапазоне частот находятся в допусках, приведенных в графе 5 таблицы 5.

11.6 Абсолютную погрешность измерений фазы коэффициента отражения  $\arg S_{11}$  вычислить по формуле (5):

$$\Delta_{\arg S_{11}} = \arg S_{11и} - \arg S_{11р}, \quad (5)$$

где  $\arg S_{11и}$  – измеренное значение фазы коэффициента отражения, градус;

-  $\arg S_{11р}$  – расчётное значение фазового сдвига, градус, на заданной частоте  $f_i$ , получаемое из следующих соотношений:

- длина волны в свободном пространстве  $\lambda_i = \frac{c}{f_i}$ ,

где  $c$  – скорость света в вакууме  $2,998 \cdot 10^8$  м/с;

$f_i$  – частота волны, Гц;

- длина волны в волноводе  $\lambda'_i = \frac{\lambda_i}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda_i}{2a})^2}}$ ,

где  $a$  – длина широкой стенки волновода меры фазового сдвига, мм;

- фаза коэффициента отражения  $\varphi_{расч}_i = \arg S_{11p} = 360^\circ \cdot \frac{2l}{\lambda'_i}$ ,

где  $l$  – длина отрезка волновода меры фазового сдвига, мм.

Результаты расчета абсолютной погрешности при измерении фазы коэффициента отражения  $\Delta \arg S_{11}$  занести в протокол поверки.

Результаты поверки считать положительными, если значения абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения  $\arg S_{11}$  в диапазоне измерений от минус  $180^\circ$  до плюс  $180^\circ$  находятся в допустимых пределах, определяемых из выражения, приведенного в графе 5 таблицы 7.

11.7 Абсолютную погрешность измерений фазы коэффициента передачи  $\arg S_{21}$  вычислить по формуле (6):

$$\Delta_{\arg S_{21}} = \arg S_{21и} - \arg S_{21р}, \quad (6)$$

где  $\arg S_{21и}$  – измеренное значение фазы коэффициента передачи, градус;

-  $\arg S_{21р}$  – расчетное значение фазового сдвига меры, градус, на заданной частоте  $f_i$ , получаемое из следующих соотношений:

- длина волны в свободном пространстве  $\lambda_i = \frac{c}{f_i}$ ,

где  $c$  – скорость света в вакууме  $2,998 \cdot 10^8$  м/с;

$f_i$  – частота волны, Гц;

- длина волны в волноводе  $\lambda'_i = \frac{\lambda_i}{\sqrt{1 - (\frac{\lambda_i}{2a})^2}}$ ,

где  $a$  – длина широкой стенки волновода меры фазового сдвига, мм;

- фаза коэффициента передачи  $\varphi_{расч}_i = \arg S_{21р} = 360^\circ \cdot \frac{l}{\lambda'_i}$ ,

где  $l$  – длина отрезка волновода меры фазового сдвига, мм.

Результаты расчета абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи  $\Delta \arg S_{21}$  занести в протокол поверки.

Результаты поверки считать положительными, если значения абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи  $\arg S_{21}$  в диапазоне измерений от минус  $180^\circ$  до плюс  $180^\circ$  находятся в допустимых пределах, приведенных в графе 5 таблицы 8.

## 12 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

12.1 Измеритель признается годным, если в ходе поверки все результаты поверки положительные.

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

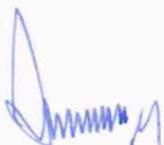
12.3 При положительных результатах поверки по заявлению владельца измерителя или лица, предъявившего его на поверку, на измеритель наносится знак поверки, и (или) выдается свидетельство о поверке, и (или) в формуляр измерителя вносится запись о проведенной поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки.

12.4 Знак поверки в виде наклейки наносится на переднюю панель измерителя.

12.5 При выполнении сокращенной поверки (на основании решения или заявки на проведение поверки, эксплуатирующей организации) в свидетельстве о поверке указывать диапазон частот на котором выполнена поверка.

12.6 Измеритель, 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»

 О.В. Каминский

Начальник отдела 11 НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

 И.П. Чирков

Инженер лаборатории 113 НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

 В.А. Тоболев