ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 71424— 2024**

# ПРИБОРЫ ФЕРРИТОВЫЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

## Методы измерения прямых потерь на низком уровне мощности

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Российский научно-исследовательский институт «Электронстандарт» (АО «РНИИ «Электронстандарт»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 303 «Электронная компонентная база, материалы и оборудование»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 июня 2024 г. № 723-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# ПРИБОРЫ ФЕРРИТОВЫЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

## Методы измерения прямых потерь на низком уровне мощности

Microwave ferrite devices.
Methods of measurement of losses at low power level

**Дата введения — 2025—03—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на приборы ферритовые сверхвысокочастотного диапазона (ПФ СВЧ) и устанавливает методы измерения прямых потерь (далее — потери), в том числе:

- прямых потерь вентилей, циркуляторов, переключателей;
- потерь фазовращателей, модуляторов, линий задержки;
- минимальных потерь полосно-пропускающих фильтров;
- потерь в линейном режиме ограничителей;
- неравномерности потерь в полосе пропускания фильтров.

Стандарт устанавливает два метода измерения потерь:

- метод 1 — для измерения потерь всех ПФ СВЧ;
- метод 2 — для измерения потерь ПФ СВЧ с малыми потерями 0,4 дБ и менее в диапазоне частот от 2,59 до 78,3 ГГц, а также при необходимости подтверждения результатов измерения малых потерь методом 1.

В технически обоснованных случаях в технических условиях (ТУ) могут устанавливаться методы измерения параметров ПФ СВЧ, отличные от указанных в стандарте на методы измерения, если эти методы аттестованы и обеспечивают погрешности измерений, не превышающие значений, установленных стандартами на конкретные методы измерения.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.006 Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля

ГОСТ 12.2.003 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

ГОСТ 22261 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия

ГОСТ 23769 Приборы электронные и устройства защитные СВЧ. Термины, определения и буквенные обозначения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом ут-

**Издание официальное**

верждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 23769.

## 4 Общие положения и требования к проведению измерений

### 4.1 Условия и режимы измерений

4.1.1 Измерения проводят в нормальных климатических условиях или в условиях, установленных в ТУ на ПФ СВЧ конкретных типов:

- температура воздуха от 15 °С до 35 °С;
- относительная влажность воздуха от 45 % до 80 %;
- атмосферное давление от 86 до 106 кПа (от 645 до 795 мм рт.ст.).

При температуре выше 30 °С относительная влажность не должна быть более 70 %.

4.1.2 Режим измерений и точность поддержания режима и условий измерений должны соответствовать требованиям, установленным в ТУ на ПФ СВЧ конкретных типов.

4.1.3 Потери управляемых ПФ СВЧ измеряют в статическом режиме, то есть при постоянном во времени значении тока управления. Значения тока управления и порядок его установления указывают в ТУ на конкретные типы ПФ СВЧ.

### 4.2 Аппаратура

4.2.1 Измерения параметров ПФ СВЧ следует проводить стандартными средствами измерения, прошедшими поверку и (или) нестандартизованными средствами измерения, прошедшими метрологическую аттестацию и поверку.

4.2.2 Средства измерения и вспомогательные устройства должны соответствовать требованиям, установленным в стандартах на конкретные методы измерения и обеспечивать измерения параметров ПФ СВЧ с требуемой этими стандартами точностью.

4.2.3 Допускается замена средств измерения и вспомогательных устройств на другие, аналогичные по назначению, или применение средств измерения и вспомогательных устройств с иными, чем указано в стандартах, значениями характеристик. Допускается введение дополнительных элементов при условии, что это не приводит к погрешностям измерения параметров, превышающих установленные в стандартах на конкретные методы измерения.

4.2.4 Перед началом измерений подготавливают и включают аппаратуру в соответствии с ее эксплуатационной документацией.

4.2.5 Калибровку средств измерения проводят совместно с подключающими устройствами.

Допускается калибровку средств измерения проводить без подключающих устройств. В этом случае параметры подключающих устройств должны соответствовать требованиям, указанным в ТУ на ПФ СВЧ конкретных типов.

4.2.6 Аппаратура цепей управления, термостаты, криостаты, приборы контроля параметров режима измерения, а также место и способ подключения к ним (размещения в них) ПФ СВЧ должны соответствовать указанным в ТУ на ПФ СВЧ конкретных типов.

Подключение ПФ СВЧ к средствам измерения при различии их элементов присоединения, размещении ПФ СВЧ в криостатах, термостатах и т. п., а также в иных необходимых случаях, указываемых в ТУ на конкретные типы ПФ СВЧ, проводят с помощью подключающих устройств (переходов, трансформаторов сопротивлений, отрезков волноводов и т. п.).

4.2.7 Коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) подключающих устройств должен соответствовать требованиям, установленным в стандартах на конкретные методы измерений.

Значение КСВН подключающих устройств не должно превышать:

- 1,1 — для волноводных подключающих устройств в диапазоне частот от 0,85 до 17,44 ГГц, для коаксиальных и коаксиально-волноводных подключающих устройств в диапазоне частот от 0,01 до 3,94 ГГц;

- 1,15 — для волноводных подключающих устройств в диапазоне частот от 17,44 до 37,5 ГГц, для коаксиальных и коаксиально-волноводных подключающих устройств в диапазоне частот от 3,94 до 12,05 ГГц, для коаксиально-микрополосковых и волноводно-микрополосковых подключающих устройств в диапазоне частот от 0,01 до 12,05 ГГц;

- 1,2 — для волноводных подключающих устройств в диапазоне частот от 37,5 до 78,3 ГГц; для коаксиальных и коаксиально-волноводных подключающих устройств в диапазоне частот от 12,05 до 26 ГГц, для волноводно-микрополосковых подключающих устройств в диапазоне частот от 12,05 до 37,5 ГГц, для коаксиально-микрополосковых подключающих устройств в диапазоне частот от 12,05 до 17,44 ГГц.

4.2.8 Допускается применение приборов, узлов и элементов схемы с иными, чем указано в стандарте, значениями параметров, объединение групп элементов схемы в один функциональный узел, изменение порядка подключения элементов, введение дополнительных элементов для обеспечения заданных условий измерений, автоматизация процесса измерений при условии, что погрешность измерения не превышает значений, установленных стандартом.

### 4.3 Подготовка и проведение измерений

4.3.1 Операции по подготовке и проведению измерений, связанные с установлением заданного режима и (или) условий измерений (например, время выдержки под током, в термостате и т. п.), указывают в ТУ на конкретные типы ПФ СВЧ.

4.3.2 Перед началом измерений включают и калибруют все стандартные средства измерений, аппаратуру цепей управления, термостаты, криостаты, приборы контроля параметров режимов измерений в соответствии с эксплуатационной документацией.

4.3.3 Исключают из СВЧ-тракта ПФ СВЧ.

4.3.4 Калибровку средств измерений (измерительных установок) проводят совместно с подключающими устройствами.

4.3.5 Допускается проводить калибровку средств измерений без подключающих устройств, при этом потери подключающих устройств могут исключаться из результата измерения, если их значение определено с погрешностью, не менее чем в три раза меньшей, чем погрешность измерения потерь, установленная стандартом.

4.3.6 Допускается при калибровке средств измерений заменять ПФ СВЧ отрезком регулярной линии передачи.

4.3.7 Порядок и операции установки управляющих токов (напряжений) при измерении потерь указывают в ТУ на конкретные типы ПФ СВЧ.

### 4.4 Обработка результатов

При калибровке средств измерений в соответствии с 4.3.5, 4.3.6 потери ПФ СВЧ $\alpha$, дБ, вычисляют по формуле

$$\alpha = \alpha_{изм} - \alpha_{п.у} + \alpha_{о}, \quad (1)$$

где $\alpha_{изм}$ — результат измерения потерь ПФ СВЧ при калибровке по 4.3.5, 4.3.6, дБ;

$\alpha_{п.у}$ — потери подключающих устройств, дБ;

$\alpha_{о}$ — потери отрезка регулярной линии передачи, заменяющего ПФ СВЧ, при калибровке по 4.3.6, дБ.

Необходимость учета потерь подключающих устройств $\alpha_{п.у}$ и отрезка регулярной линии передачи $\alpha_{о}$ устанавливают в ТУ на ПФ СВЧ конкретного типа.

### 4.5 Показатели точности измерений

4.5.1 Для волноводных ПФ СВЧ в диапазоне частот до 78,3 ГГц включительно, для коаксиальных ПФ СВЧ в диапазоне частот до 26 ГГц включительно, для микрополосковых ПФ СВЧ в диапазоне частот до 37,5 ГГц включительно, имеющих КСВН не более 1,3, погрешности измерения параметров должны соответствовать установленным в стандартах на методы измерения конкретных параметров и выражены интервалом с установленной вероятностью 0,95.

4.5.2 Для волноводных ПФ СВЧ в диапазоне частот свыше 78,3 ГГц, для коаксиальных ПФ СВЧ в диапазоне частот свыше 26 ГГц, для микрополосковых ПФ СВЧ в диапазоне частот свыше 37,5 ГГц и ПФ СВЧ, имеющих КСВН более 1,3, погрешности измерения параметров должны соответствовать установленным в ТУ на ПФ СВЧ конкретных типов.

4.5.3 Если в эксплуатационной документации на средства измерения погрешности средств измерения выражены интервалом без указания закона распределения и вероятности, то закон распределения этой погрешности принимают равновероятным, а вероятность — равной 0,997.

### 4.6 Требования безопасности

4.6.1 При подготовке и проведении измерений следует соблюдать требования безопасности, установленные ГОСТ 12.2.003 и настоящим стандартом.

4.6.2 Средства измерения по 4.2.1 должны соответствовать требованиям безопасности, установленным ГОСТ 22261.

4.6.3 При подготовке и проведении измерений предельно допустимая плотность потока электромагнитного поля на рабочих местах не должна превышать норм, установленных ГОСТ 12.1.006.

4.6.4 Установку ПФ СВЧ в тракт и их замену следует проводить при отсутствии напряжений (токов) управления и СВЧ-мощности на их входах.

## 5 Метод 1

### 5.1 Принцип и условия измерения

5.1.1 Потери определяют путем сравнения амплитуд сигналов на входе и выходе ПФ СВЧ с индикацией отношения этих сигналов на экране.

5.1.2 При измерении потерь ПФ СВЧ с малым значением потерь ($\alpha \le 0{,}5$ дБ) допускается в технически обоснованных случаях включать последовательно несколько приборов, количество которых должно соответствовать установленному в ТУ на ПФ СВЧ конкретного типа, и измерять интегральное значение потерь $\alpha_{\Sigma}$.

### 5.2 Аппаратура

Измерение потерь проводят на панорамных измерителях КСВН или на панорамных измерителях КСВН и ослаблений, измерителях коэффициентов передачи и др. (далее — панорамные измерители).

### 5.3 Подготовка и проведение измерений

5.3.1 Включают (для управляемых ПФ СВЧ) источник управляющего тока (напряжения) и устанавливают заданный режим измерения.

5.3.2 Измеряют потери ПФ СВЧ в соответствии с эксплуатационной документацией панорамных измерителей.

### 5.4 Обработка результатов

Значение потерь ПФ СВЧ при измерении интегрального значения потерь нескольких ПФ СВЧ $\alpha$, дБ, вычисляют по формуле

$$\alpha = \frac{\alpha_{\Sigma}}{n}, \qquad (2)$$

где $\alpha_{\Sigma}$ — измеренное значение потерь нескольких последовательно включенных ПФ СВЧ, определенное по показателям отсчетного устройства панорамного измерителя, дБ;

$n$ — количество последовательно включенных ПФ СВЧ.

### 5.5 Показатели точности измерения

5.5.1 Погрешность измерения потерь ПФ СВЧ с КСВН, не превышающим значения, для которого нормируется погрешность панорамного измерителя (как правило, это значение составляет 1,2), без использования подключающих устройств находится в пределах:

- при использовании измерителей классов точности 2 и 3:

$\pm(0{,}5 + 0{,}05\alpha)$ дБ — в диапазоне частот от 0,01 до 37,5 ГГц,

$\pm(0{,}75 + 0{,}05\alpha)$ дБ — в диапазоне частот от 37,5 до 78,3 ГГц;

- при использовании измерителей класса точности 1:

$\pm(0{,}2 + 0{,}03\alpha)$ дБ, где $\alpha$ — значение измеряемых потерь в дБ с установленной вероятностью 0,95.

5.5.2 Показатели точности измерений потерь ПФ СВЧ с КСВН, превышающим значения, для которого нормируется погрешность панорамного измерителя, а также при использовании подключающих устройств, должны соответствовать установленным в ТУ на конкретные типы ПФ СВЧ.

Границы интервала, в которых с установленной вероятностью 0,95 находится погрешность измерения, определяют в соответствии с приложениями А и Б.

При этом границы интервала должны находиться:

- при КСВН ПФ СВЧ, не превышающем 1,3, — в пределах ±0,7 дБ в диапазоне частот от 0,01 до 37,5 ГГц, в пределах ±0,9 дБ — в диапазоне частот от 37,5 до 78,3 ГГц;
- при КСВН ПФ СВЧ, не превышающем 1,5, — в пределах ±0,8 дБ в диапазоне частот от 0,01 до 37,5 ГГц, в пределах ±1,0 дБ — в диапазоне частот от 37,5 до 78,3 ГГц;
- при КСВН ПФ СВЧ, не превышающем 2,0, — в пределах ±0,9 дБ в диапазоне частот от 0,01 до 3,94 ГГц при использовании коаксиальных панорамных измерителей и от 2,59 до 37,5 ГГц при использовании волноводных панорамных измерителей, в пределах ±1,1 дБ — в диапазоне частот от 3,94 до 18 ГГц при использовании коаксиальных панорамных измерителей и от 37,5 до 78,3 ГГц при использовании волноводных панорамных измерителей.

## 6 Метод 2

### 6.1 Принцип и условия измерения

6.1.1 Потери определяют путем замещения потерь ПФ СВЧ ослаблением измерительного аттенюатора. Метод применяют в двух вариантах.

Вариант 1 предусматривает наличие в схеме, приведенной на рисунке 1, развязывающих вентилей, позволяющих уменьшить влияние рассогласования в СВЧ-тракте, и обеспечивает по сравнению с вариантом 2 более высокую точность. Вариант 1 целесообразно применять для ПФ СВЧ с потерями менее 0,2 дБ.

При измерении по варианту 2 из схемы, приведенной на рисунке 1, развязывающие вентили исключают.

6.1.2 Измерения проводят на фиксированных значениях частоты генератора, устанавливаемых в ТУ на конкретные типы ПФ СВЧ.

### 6.2 Аппаратура

6.2.1 Измерение потерь проводят на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 1.

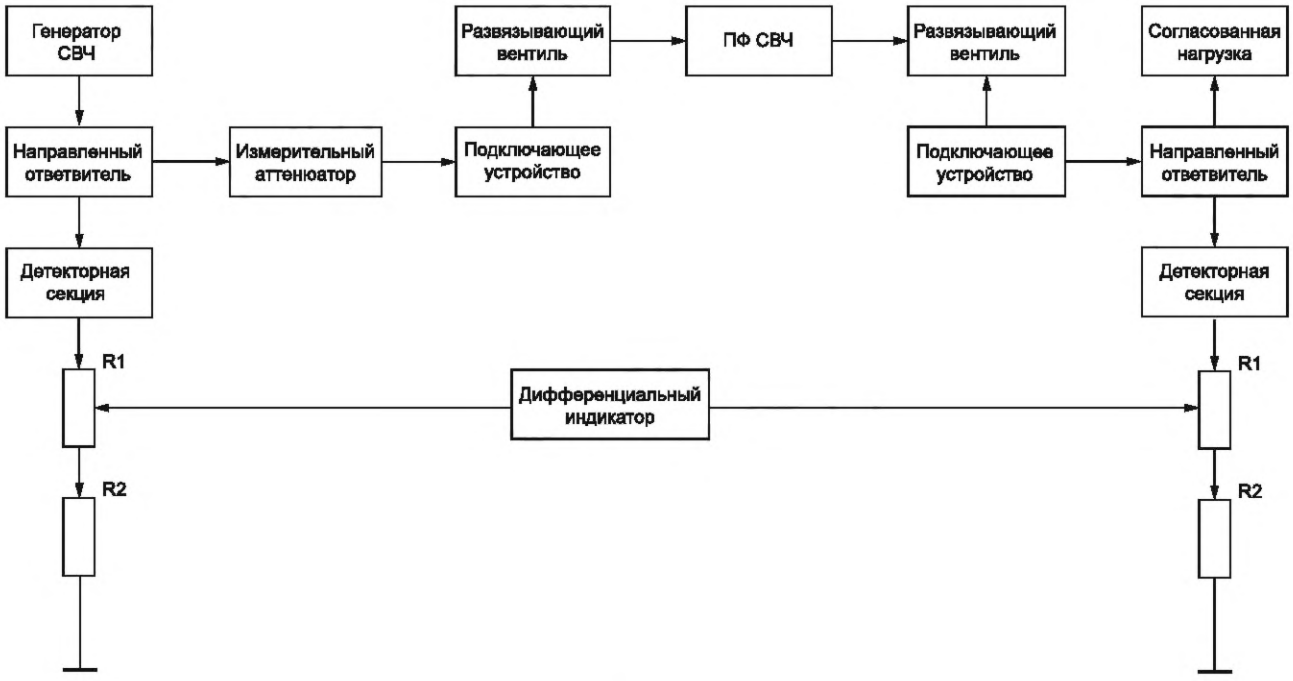


Рисунок 1

6.2.2 Генератор СВЧ должен обеспечивать режим работы (непрерывную генерацию или амплитудную модуляцию сигнала СВЧ) в соответствии с режимом работы индикатора (постоянный или переменный ток, напряжение). Для повышения чувствительности схемы рекомендуется работать при максимальных уровнях мощности генератора.

6.2.3 Относительная нестабильность частоты генератора за 15 мин не должна превышать $5 \cdot 10^{-4} f$, где $f$ — частота генератора.

6.2.4 Допускается использовать в качестве генераторов СВЧ генераторные блоки панорамных измерителей, работающие в режиме ручной перестройки частоты.

6.2.5 Направленные ответвители должны быть выполнены на прямоугольных волноводах стандартных сечений с переходным затуханием не более 20 дБ и направленностью не менее 30 дБ, КСВН первичного тракта направленных ответвителей не должен превышать 1,05 в диапазоне частот от 2,59 до 37,5 ГГц и 1,15 в диапазоне от 37,5 до 78,3 ГГц.

6.2.6 КСВН согласованной нагрузки не должен превышать 1,1.

6.2.7 Измерительный аттенюатор должен бать поляризационного типа с выходами на прямоугольный волновод стандартного сечения.

Погрешность отсчета разностного ослабления в пределах от 0 до 1 дБ не должна превышать ±0,02 дБ.

КСВН измерительного аттенюатора в пределах ослабления от 0 до 1 дБ не должен превышать 1,15.

6.2.8 Развязывающие вентили должны иметь присоединительные размеры, аналогичные присоединительным размерам ПФ СВЧ.

Обратные потери вентилей должны быть не менее 15 дБ.

6.2.9 КСВН развязывающих вентилей со стороны ПФ СВЧ не должен превышать:

- 1,15 — для волноводных вентилей в диапазоне частот от 2,59 до 37,5 ГГц и коаксиальных вентилей в диапазоне частот от 2,59 до 12,05 ГГц;
- 1,2 — для волноводных вентилей в диапазоне частот от 37,5 до 78,3 ГГц, для коаксиальных вентилей в диапазоне частот от 12,05 до 26 ГГц и для микрополосковых вентилей в диапазоне частот от 2,59 до 37,5 ГГц.

6.2.10 Значения сопротивлений R1, R2 выбирают в пределах (2 ± 1) кОм. В технически обоснованных случаях значения R1, R2 могут быть выбраны иными при условии выполнения требований 6.2.11. В этом случае значения R1, R2 должны соответствовать указанным в ТУ на конкретные типы ПФ СВЧ.

6.2.11 Дифференциальный индикатор совместно с детекторными секциями и делителями напряжения R1, R2 в режиме баланса схемы должен обеспечивать чувствительность не хуже одного деления шкалы отсчетного устройства или одного миллиметра экрана дифференциального индикатора на 0,02 дБ.

6.2.12 В качестве стандартного дифференциального индикатора рекомендуется использовать осциллограф С1-70 с блоком 1У13 или другие, ему подобные.

6.2.13 В качестве направленных ответвителей, детекторных секций и согласованной нагрузки могут быть использованы узлы (элементы) панорамных измерителей.

6.2.14 Допускается включать перед детекторными секциями переменные аттенюаторы СВЧ и осуществлять регулировку амплитуд сигналов изменением их ослабления. Резисторы R1 и R2 при этом из схемы исключают.

При включении переменного аттенюатора на выходе ПФ СВЧ направленный ответвитель и согласованную нагрузку из схемы исключают.

Суммарный КСВН переменного аттенюатора и детекторной секции, стоящих на выходе ПФ СВЧ, при исключении из схемы направленного ответвителя и согласованной нагрузки не должен превышать 1,15 в диапазоне частот от 2,59 до 37,5 ГГц и 1,25 в диапазоне частот от 37,5 до 78,3 ГГц.

6.2.15 На частотах свыше 78,3 ГГц требования к параметрам приборов и элементов схемы устанавливают в ТУ на ПФ СВЧ конкретного типа.

6.2.16 Требования к КСВН развязывающих вентилей микрополоскового типа на частотах свыше 37,5 ГГц устанавливают в ТУ на ПФ СВЧ конкретного типа.

### 6.3 Подготовка и проведение измерений

6.3.1 Устанавливают минимальный коэффициент деления (максимальную чувствительность) обоих каналов дифференциального индикатора.

6.3.2 Устанавливают визир отсчетного устройства аттенюатора на отметку шкалы «0» дБ.

6.3.3 Устанавливают делители напряжения R1 и R2 на минимальный коэффициент деления (максимум выходного сигнала).

6.3.4 Подают в тракт мощность СВЧ.

6.3.5 Изменяют коэффициент деления одного из делителей напряжения R1, R2 и устанавливают режим баланса схемы. При этом второй делитель напряжения должен оставаться в положении минимального коэффициента деления.

6.3.6 Исключают из тракта ПФ СВЧ и изменением ослабления аттенюатора устанавливают режим баланса схемы.

6.3.7 Значение потерь определяют по шкале отсчетного устройства аттенюатора.

### 6.4 Показатели точности измерений

6.4.1 Погрешность измерения потерь при измерении по варианту 1 для ПФ СВЧ с КСВН, не превышающим 1,3, находится в пределах ±0,25 дБ с установленной вероятностью 0,95.

Погрешность измерения потерь при измерении по варианту 2 для ПФ СВЧ с КСВН, не превышающим 1,3, с установленной вероятностью 0,95 находится в пределах ±0,25 дБ, если не используют подключающие устройства, и в пределах ±0,4 дБ при использовании подключающих устройств.

Формулы для расчета погрешностей измерения потерь приведены в приложении А.

6.4.2 Значения погрешностей измерения потерь различных типов ПФ СВЧ при различных значениях КСВН ПФ СВЧ и подключающих устройств для различных диапазонов частот приведены в приложении Б.

6.4.3 Погрешность измерения потерь при измерении по вариантам 1 и 2 на частотах свыше 78,3 ГГц, а также в случаях, предусмотренных в 6.2.16, при КСВН развязывающих вентилей более 1,2 должна соответствовать установленной в ТУ на ПФ СВЧ конкретного типа.

## Приложение А
## (справочное)

## Методика расчета погрешностей измерения потерь

А.1 Погрешность измерения потерь $\Delta(\alpha)$, дБ, по методу 1 вычисляют по формуле

$$\Delta(\alpha) = \pm 1{,}96\sqrt{\sigma_{изм}^2 + \sigma_{п.у}^2 + \sigma_{р1}^2}, \quad (А.1)$$

где 1,96 — 0,95-я квантиль нормированной нормальной функции распределения;

$\sigma_{изм}$ — среднее квадратическое отклонение погрешности панорамного измерителя, дБ;

$\sigma_{п.у}$ — среднее квадратическое отклонение погрешности измерения из-за влияния подключающих устройств, дБ;

$\sigma_{р1}$ — среднее квадратическое отклонение погрешности измерения из-за рассогласования СВЧ-тракта, дБ.

Среднее квадратическое отклонение погрешности панорамного измерителя $\sigma_{изм}$, дБ, вычисляют по формуле

$$\sigma_{изм} = \frac{\Delta_{изм}}{1{,}73}, \quad (А.2)$$

где $\Delta_{изм}$ — паспортное значение погрешности панорамного измерителя, дБ;

1,73 — 0,997-я квантиль нормированной равномерной функции распределения.

Среднее квадратическое отклонение погрешности измерения из-за влияния подключающих устройств $\sigma_{п.у}$, дБ, вычисляют по формуле

$$\sigma_{п.у} = \frac{8{,}69}{1{,}41} \cdot \Gamma_{п.у}\sqrt{\left(1 + 10^{-\frac{\alpha_{пр} + \alpha_{обр}}{10}}\right)\left(\Gamma_{п.у}^2 + 2\Gamma_{н.о}^2 + 10^{-\frac{N}{10}}\right) + 2\Gamma_{ф.п}^2}, \quad (А.3)$$

где 8,69 — коэффициент перевода относительных единиц погрешностей в децибелы по напряжению;

1,41 — 0,997-я квантиль нормированной функции распределения по арккосинусу;

$\Gamma_{п.у}$, $\Gamma_{н.о}$, $\Gamma_{н}$, $\Gamma_{ф.п}$ — модули коэффициентов отражения подключающего устройства, направленного ответвителя, нагрузки согласованной и ПФ СВЧ соответственно.

Модули коэффициентов отражения соответствующих элементов вычисляют по общей формуле

$$\Gamma = \frac{K_{ст}U - 1}{K_{ст}U + 1}, \quad (А.4)$$

где $K_{ст}U$ — коэффициент стоячей волны по напряжению соответствующего элемента;

$N$ — направленность направленного ответвителя, дБ;

$\alpha_{пр}$, $\alpha_{обр}$ — прямые и обратные потери (развязки) ПФ СВЧ, дБ.

Среднее квадратическое отклонение погрешности измерения из-за рассогласования СВЧ-тракта $\sigma_{р1}$, дБ, вычисляют по формуле

$$\sigma_{р1} = \frac{8{,}69}{1{,}41} \cdot \left(\Gamma_{ф.п} - \Gamma_{изм.н}\right)\sqrt{2\Gamma_{н.о}^2 + \Gamma_{н}^2 + 10^{-\frac{N}{10}}}, \quad (А.5)$$

где $\Gamma_{изм.н}$ — нормированное значение коэффициента отражения измеряемого прибора, для которого действительна погрешность панорамного измерителя (при $K_{ст}U_{изм.н} = 1{,}2$; $\Gamma_{изм.н} = 0{,}091$).

А.2 Погрешность измерения интегрального значения потерь нескольких ПФ СВЧ $\Delta(\alpha_{\Sigma})$ по методу 1 вычисляют по формуле

$$\Delta(\alpha_{\Sigma}) = \pm 1{,}96\sqrt{\sigma_{изм}^2 + \sigma_{п.у}^2 + \sigma_{р1}^2 + \sigma_{р2}^2}, \quad (А.6)$$

где $\sigma_{р2}$ — среднее квадратическое отклонение погрешности измерения из-за рассогласования между ПФ СВЧ, дБ, вычисляемое по формуле

$$\sigma_{р2} = \frac{8{,}69}{1{,}41} \cdot \Gamma_{ф.п}^2 \cdot (n - 1), \quad (А.7)$$

где $n$ — количество последовательно включенных ПФ СВЧ.

А.3 Погрешность измерения потерь $\Delta(\alpha)$, дБ, по методу 2, вариант 1, вычисляют по формуле

$$\Delta(\alpha) = \pm 1{,}96\sqrt{\sigma_а^2 + \sigma_и^2 + \sigma_р^2}, \quad (А.8)$$

где $\sigma_а$ — среднее квадратическое отклонение погрешности разностного ослабления по измерительному аттенюатору, дБ;

$\sigma_и$ — среднее квадратическое отклонение погрешности из-за конечной чувствительности дифференциального индикатора, дБ;

$\sigma_р$ — среднее квадратическое отклонение погрешности из-за рассогласования СВЧ-тракта, дБ.

Среднее квадратическое отклонение погрешности разностного ослабления по измерительному аттенюатору $\sigma_а$, дБ, вычисляют по формуле

$$\sigma_а = \frac{\Delta_а}{2{,}45}, \quad (А.9)$$

где $\Delta_а$ — погрешность отсчета разностного ослабления по аттенюатору, дБ;

2,45 — 0,997-я квантиль нормированной функции распределения по треугольнику.

Среднее квадратическое отклонение погрешности из-за конечной чувствительности дифференциального индикатора $\sigma_и$, дБ, вычисляют по формуле

$$\sigma_и = \frac{\Delta_и}{1{,}73}, \quad (А.10)$$

где $\Delta_и$ — погрешность из-за конечной чувствительности индикатора дифференциального, дБ.

Среднее квадратическое отклонение погрешности из-за рассогласования СВЧ-тракта $\sigma_р$, дБ, вычисляют по формуле

$$\sigma_р = \frac{8{,}69}{1{,}41} \cdot \Gamma_в \sqrt{2\Gamma_{ф.п}^2 + \left(1 + 10^{-\frac{\alpha_{пр} + \alpha_{обр}}{10}}\right) \cdot \Gamma_в^2}, \quad (А.11)$$

где $\Gamma_в$ — модуль коэффициента отражения развязывающего вентиля.

А.4 Погрешность измерения потерь $\Delta(\alpha)$, дБ, по методу 2, вариант 2, вычисляют по формуле

$$\Delta(\alpha) = \pm 1{,}96\sqrt{\sigma_а^2 + \sigma_и^2 + \sigma_{н.о}^2 + \sigma_{п.у}^2 + \sigma_р^2}, \quad (А.12)$$

$$\sigma_{н.о} = \frac{8{,}69}{1{,}41} \cdot 10^{-\frac{N}{20}} \sqrt{\left(1 + 10^{-\frac{\alpha_{пр} + \alpha_{обр}}{10}}\right)\left(\Gamma_{н.о}^2 + \Gamma_н^2\right) + \Gamma_{ф.п}^2}, \quad (А.13)$$

$$\sigma_{п.у} = \frac{8{,}69}{1{,}41} \cdot \Gamma_{п.у} \sqrt{\left(1 + 10^{-\frac{\alpha_{пр} + \alpha_{обр}}{10}}\right)\left(\Gamma_{п.у}^2 + 2\Gamma_{н.о}^2 + \Gamma_н^2 + \Gamma_а^2 + 10^{-\frac{N}{10}}\right) + 2\Gamma_{ф.п}^2}, \quad (А.14)$$

$$\sigma_р = \frac{8{,}69}{1{,}41} \sqrt{\left(1 + 10^{-\frac{\alpha_{пр} + \alpha_{обр}}{10}}\right)\left(\Gamma_{н.о}^4 + \Gamma_{н.о}^2 \cdot \Gamma_н^2 + \Gamma_а^2 \cdot \Gamma_{н.о}^2 + \Gamma_а^2 \cdot \Gamma_н^2\right) + \Gamma_{ф.п}^2\left(2\Gamma_{н.о}^2 + \Gamma_а^2 + \Gamma_н^2\right)}, \quad (А.15)$$

где $\sigma_{н.о}$ — среднее квадратическое отклонение погрешности направленного ответвителя;

$\Gamma_а$ — модуль коэффициента отражения измерительного аттенюатора.

## Приложение Б
## (справочное)

## Числовые значения погрешности измерения $\Delta(\alpha)$ и среднеквадратических отклонений $\sigma_{п.у}$, $\sigma_р$

Б.1 Значения среднеквадратического отклонения $\sigma_{п.у}$, входящего в формулу (А.1), в зависимости от типа панорамного измерителя, диапазона частот, КСВН ПФ СВЧ и подключающего устройства приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1

| $K_{ст}U$ измеряемого ПФ СВЧ | $K_{ст}U$ подключающего устройства | Измеритель панорамный волноводного типа | | Измеритель панорамный коаксиального типа | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Диапазон частот, ГГц | | | |
| | | 2,59—37,5 | 37,5—78,3 | 0,01—4 | 4—18 |
| | | $\sigma_{п.у}$, дБ | | | |
| 1,3 | 1,10 | 0,070 | 0,080 | 0,080 | 0,107 |
| | 1,15 | 0,107 | 0,123 | 0,123 | 0,160 |
| | 1,20 | 0,147 | 0,167 | 0,167 | 0,213 |
| 1,5 | 1,10 | 0,098 | 0,110 | 0,110 | 0,175 |
| | 1,15 | 0,146 | 0,158 | 0,158 | 0,257 |
| | 1,20 | 0,196 | 0,212 | 0,212 | 0,338 |
| 2,0 | 1,10 | 0,154 | 0,160 | 0,160 | 0,175 |
| | 1,15 | 0,228 | 0,236 | 0,236 | 0,257 |
| | 1,20 | 0,300 | 0,311 | 0,311 | 0,338 |

Б.2 Значения среднеквадратического отклонения $\sigma_{р1}$, входящего в формулу (А.1), в зависимости от типа панорамного измерителя, диапазона частот и КСВН ПФ СВЧ приведены в таблице Б.2.

Таблица Б.2

| $K_{ст}U$ измеряемого ПФ СВЧ | Измеритель панорамный волноводного типа | | Измеритель панорамный коаксиального типа | |
|---|---|---|---|---|
| | Диапазон частот, ГГц | | | |
| | 2,59—37,5 | 37,5—78,3 | 0,01—4 | 4—18 |
| | $\sigma_{р1}$, дБ | | | |
| 1,3 | 0,020 | 0,030 | 0,030 | 0,050 |
| 1,5 | 0,050 | 0,083 | 0,083 | 0,140 |
| 2,0 | 0,110 | 0,185 | 0,185 | 0,310 |

Б.3 Значения погрешности измерения потерь $\Delta(\alpha)$ по методу 2, вариант 1, в зависимости от КСВН измеряемого ПФ СВЧ и КСВН развязывающих вентилей приведены в таблице Б.3.

Таблица Б.3

| $K_{ст}U$ измеряемого ПФ СВЧ | $K_{ст}U$ развязывающего вентиля | $\pm\Delta(\alpha)$, дБ |
|---|---|---|
| 1,1 | 1,05 | 0,04 |
| | 1,10 | 0,07 |
| | 1,15 | 0,10 |
| | 1,20 | 0,15 |

*Окончание таблицы Б.3*

| $K_{ст U}$ измеряемого ПФ СВЧ | $K_{ст U}$ развязывающего вентиля | ±Δ(α), дБ |
|---|---|---|
| 1,2 | 1,05 | 0,05 |
| | 1,10 | 0,10 |
| | 1,15 | 0,15 |
| | 1,20 | 0,20 |
| 1,3 | 1,05 | 0,06 |
| | 1,10 | 0,15 |
| | 1,15 | 0,20 |
| | 1,20 | 0,25 |

Б.4 Значения погрешности измерения потерь Δ(α) по методу 2, вариант 2, в зависимости от типа измеряемого прибора, КСВН измеряемого прибора и КСВН подключающего устройства приведены в таблице Б.4.

Таблица Б.4

| $K_{ст U}$ измеряемого ПФ СВЧ | $K_{ст U}$ подключающего устройства | Тип измеряемого ПФ СВЧ | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | вентили, циркуляторы, переключатели | | фазовращатели, фильтры, ограничители | |
| | | Диапазон частот, ГГц | | | |
| | | 2,59—37,5 | 37,5—78,3 | 2,59—37,5 | 37,5—78,3 |
| | | ±Δ(α), дБ | | | |
| 1,1 | — | 0,08 | 0,15 | 0,10 | 0,20 |
| | 1,10 | 0,10 | 0,20 | 0,15 | 0,20 |
| | 1,15 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,25 |
| | 1,20 | 0,20 | 0,25 | 0,25 | 0,30 |
| 1,2 | — | 0,15 | 0,20 | 0,15 | 0,25 |
| | 1,10 | 0,15 | 0,25 | 0,20 | 0,30 |
| | 1,15 | 0,20 | 0,25 | 0,25 | 0,30 |
| | 1,20 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,35 |
| 1,3 | — | 0,15 | 0,25 | 0,20 | 0,25 |
| | 1,10 | 0,20 | 0,30 | 0,25 | 0,30 |
| | 1,15 | 0,25 | 0,30 | 0,30 | 0,35 |
| | 1,20 | 0,30 | 0,40 | 0,35 | 0,40 |

УДК 621.317.34.001.4:006.354 ОКС 29.100.10

Ключевые слова: приборы ферритовые сверхвысокочастотного диапазона, методы измерения, прямые потери, низкий уровень мощности

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 07.06.2024. Подписано в печать 13.06.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,50.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru