ГОСТ Р 50730.4—95

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПРИБОРЫ ФЕРРИТОВЫЕ СВЧ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВОГО СДВИГА НА ВЫСОКОМ УРОВНЕ МОЩНОСТИ

Издание официальное

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
Москва

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Научно-исследовательским институтом «Домен»

ВНЕСЕН Техническим комитетом (ТК 303) «Изделия электронной техники, материалы, оборудование»

2 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 24.01.95 № 12

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© Издательство стандартов, 1995

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта России

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Общие положения 2
4 Метод I 2
5 Метод II 5
6 Метод III 7
7 Приложение А. Методика расчета погрешности измерения фазовых сдвигов 10

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПРИБОРЫ ФЕРРИТОВЫЕ СВЧ.

Методы измерения фазового сдвига на высоком уровне мощности

Microwave ferrite devices. Methods of measurement of phase shift at high power level

Дата введения 1996—01—01

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт устанавливает три метода измерения управляемого фазового сдвига фазовращателей и начального фазового сдвига фазовращателей, вентилей, циркуляторов, переключателей в диапазоне частот 0,01—178 ГГц.

I — нулевой метод с использованием измерительной линии;

II — нулевой метод с использованием измерительного фазовращателя;

III — нулевой метод с использованием специального суммирующего СВЧ-элемента и измерительного фазовращателя.

Общие требования к условиям и режимам измерения, аппаратуре, подготовке и проведению измерений, показателям точности измерений и требования безопасности — по ГОСТ Р 50730.1.

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 11294—81 Линии измерительные. Технические требования. Методы испытаний

ГОСТ Р 50730.1—95 Приборы ферритовые СВЧ. Общие требования при измерении параметров на высоком уровне мощности

Издание официальное

★

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 **Аппаратура**

3.1.1 Подключающие устройства должны иметь КСВН не более 1,2.

3.1.2 Направленные ответвители должны иметь КСВН основных каналов не более 1,2.

3.1.3 Аттенюаторы должны иметь КСВН не более 1,2, изменение фазового сдвига, вносимого аттенюатором, при изменении ослабления должно находиться в пределах ±1,5°/дБ, диапазон изменения ослабления должен обеспечивать выравнивание суммируемых сигналов при измерении конкретного ПФ СВЧ.

3.1.4 Измерительные фазовращатели должны иметь КСВН не более 1,2, погрешность установления фазового сдвига в пределах ±3° или погрешность разности двух фазовых сдвигов в пределах ±6°, диапазон изменения фазового сдвига измерительных фазовращателей должен обеспечивать измерение фазовых сдвигов конкретного ПФ СВЧ.

3.1.5 Генератор должен иметь погрешность установки частоты не более $\pm 1 \cdot 10^{-4} f$, нестабильность частоты за время нахождения минимальных показаний индикатора не должна превышать $1 \cdot 10^{-4}$, длительность импульса — не менее 0,5 мкс.

4 МЕТОД 1

4.1 **Принцип измерений**

Фазовый сдвиг ПФ СВЧ определяют, измеряя изменение положения узла (минимума) стоячей волны, получаемой в канале измерительной линии, за счет встречного прохождения сигналов СВЧ.

4.2 **Аппаратура**

4.2.1 Фазовый сдвиг измеряют на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 1.

4.2.2 Направленные ответвители должны иметь КСВН вторичных каналов не более 1,1 со стороны измерительной линии.

4.2.3. Разность электрических длин путей прохождения сигналов СВЧ, суммируемых в зонде измерительной линии, через цепочки элементов, в которые входят с одной стороны — направленный ответвитель 1 и измерительная линия, с другой стороны — направленный ответвитель 1, ПФ СВЧ с подключающими устройствами или дополнительный отрезок регулярного волновода, направленный ответвитель 2 и измерительная линия, должна находиться в пределах ±3600°.

4.2.4 Мощность каждого из сигналов СВЧ на входах измерительной линии должна быть не менее 1 мВт, их отношение должно быть в пределах ±1 дБ.

4.2.5 Измерительная линия должна удовлетворять требованиям 2-го класса ГОСТ 11294.

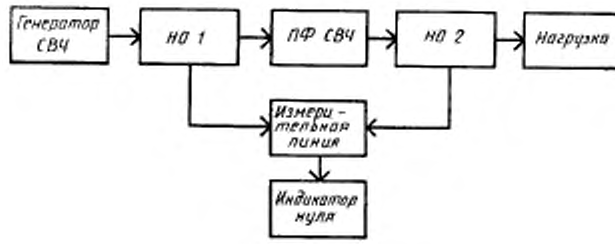

Рисунок 1

4.2.6 В качестве индикатора нуля применяют осциллографы с коэффициентом отклонения по вертикали не более 0,5 мВ/дел., измерители отношения напряжений, селективные усилители и т. п. в соответствии с эксплуатационной документацией на измерительные линии.

4.3 **Подготовка к измерениям**

Перед началом измерений подготавливают все средства измерений в соответствии с их эксплуатационной документацией.

4.4 **Проведение измерений**

4.4.1 Измерение начального фазового сдвига

4.4.1.1 Вместо ПФ СВЧ подключают отрезок регулярного волновода.

4.4.1.2 Устанавливают частоту генератора f_0 и, перемещая зонд вдоль измерительной линии, определяют положение минимума l_1, мм.

4.4.1.3 Вместо отрезка регулярного волновода подключают ПФ СВЧ.

4.4.1.4 Устанавливают частоту генератора f_0 и, перемещая зонд вдоль измерительной линии, определяют положение минимума l_2, мм.

4.4.1.5 Начальный фазовый сдвиг $\varphi_{нач}$ в градусах вычисляют по формуле

$$\varphi_{нач} = \frac{720}{\lambda_в} |l_1 - l_2|, \qquad (1)$$

где $\lambda_в$ — длина волны в волноводе измерительной линии, мм.

Для коаксиальных измерительных линий $\lambda_в$, мм, вычисляют по формуле

$$\lambda_в = \frac{300}{f_0}, \qquad (2)$$

где f_0 — частота генератора, ГГц.

Для волноводных измерительных линий $\lambda_в$, мм, вычисляют по формуле

$$\lambda_в = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1-\left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}}, \qquad (3)$$

где λ_0 — длина волны в свободном пространстве

$$\lambda_0 = \frac{300}{f_0}, \qquad (4)$$

где a — ширина волновода измерительной линии, мм;

f_0 — частота генератора, ГГц.

4.4.2 Измерение управляемого фазового сдвига

4.4.2.1 Устанавливают ПФ СВЧ в начальное фазовое состояние в соответствии с ТУ.

4.4.2.2 Устанавливают частоту генератора f_0 и, перемещая зонд вдоль измерительной линии, определяют положение минимума l_3, мм.

4.4.2.3 Устанавливают ПФ СВЧ в заданное фазовое состояние в соответствии с ТУ.

4.4.2.4 Устанавливают частоту генератора f_0 и, перемещая зонд вдоль измерительной линии, определяют положение минимума l_4, мм.

4.4.2.5 Управляемый фазовый сдвиг $\varphi_{упр}$ в градусах вычисляют по формуле

$$\lambda_{упр} = \frac{720^0}{\lambda_в} |l_3 - l_4|. \qquad (5)$$

4.5 Показатели точности измерений

Погрешность измерения начального и управляемого фазовых сдвигов ПФ СВЧ с установленной вероятностью 0,95 находится в пределах $\pm (7 - 7/\sin \frac{\varphi}{2})^\circ$,

где φ — измеренное значение фазового сдвига.

5 МЕТОД II

5.1 **Принцип измерений**

Фазовый сдвиг ПФ СВЧ измеряют путем сравнения фазы двух сигналов СВЧ одинаковой амплитуды во вторичном канале направленного ответвителя на выходе ПФ СВЧ, компенсируя изменение фазы одного из сигналов СВЧ регулировкой измерительного фазовращателя.

5.2 **Аппаратура**

5.2.1 Фазовый сдвиг измеряют на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 2.

5.2.2 Направленный ответвитель 1 должен иметь КСВН вторичного канала не более 1,2 со стороны измерительного фазовращателя.

5.2.3 Направленный ответвитель 2 должен иметь КСВН вторичного канала не более 1,3 со стороны вентиля.

5.2.4 Суммарное ослабление сигнала СВЧ ВУМ за счет переходного ослабления направленного ответвителя 1, начального ослабления аттенюатора, прямых потерь вентиля и ослабления дополнительных устройств, включенных между вторичными каналами направленных ответвителей, должно быть меньше переходного ослабления ответвителя 2.

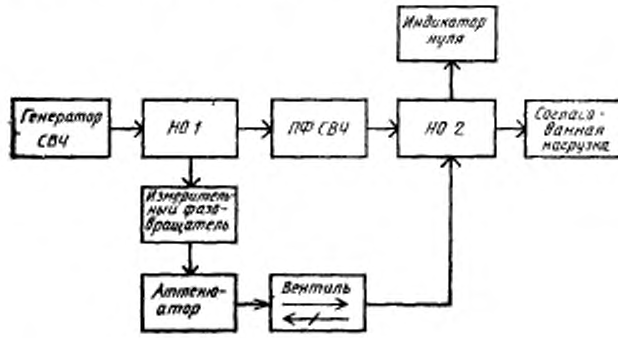

Рисунок 2

5.2.5 Разность электрических длин путей прохождения сигналов СВЧ, суммируемых во вторичном канале направленного ответвителя 2, через цепочки элементов, в которые входят, с одной стороны, направленный ответвитель 1, измерительный фазовраща-

тель, аттенюатор, вентиль, направленный ответвитель 2, с другой стороны, — направленный ответвитель 1, ПФ СВЧ с подключающими устройствами или отрезок регулярного волновода, направленный ответвитель 2, должна находиться в пределах ±3600°.

5.2.6 В качестве индикатора нуля применяют измерители мощности, детекторные секции с осциллографом и т. п., чувствительность индикатора нуля и переходное ослабление направленных ответвителей должны обеспечивать чувствительность баланса схемы не хуже 1 дел./градус.

5.2.7 Вентиль должен иметь КСВН со стороны входа не более 1,3, обратные потери не менее 20 дБ.

5.3 **Подготовка к измерениям**

5.3.1 Перед началом измерений подготавливают все средства измерений в соответствии с их эксплуатационной документацией.

5.3.2 Устанавливают частоту генератора f_0 и, изменяя фазовый сдвиг измерительного фазовращателя и ослабление аттенюатора, добиваются минимальных показаний индикатора нуля и отсчитывают по шкале фазовращателя значение фазового сдвига φ_0 в градусах. Изменяя фазовый сдвиг фазовращателя на ±1° относительно φ_0, определяют отклонение показаний индикатора нуля, которое должно быть не менее 1 деления его шкалы. Чувствительность можно проверять как с ПФ СВЧ, так и с отрезком регулярного волновода.

5.4 **Проведение измерений**

5.4.1 Измерение начального фазового сдвига

5.4.1.1 Вместо ПФ СВЧ подключают отрезок регулярного волновода.

5.4.1.2 Устанавливают частоту генератора f_0 и, изменяя фазовый сдвиг измерительного фазовращателя и ослабление аттенюатора, добиваются минимальных показаний индикатора нуля и отсчитывают по шкале измерительного фазовращателя значение фазового сдвига φ_1 в градусах.

5.4.1.3 Вместо отрезка регулярного волновода подключают ПФ СВЧ.

5.4.1.4 Устанавливают частоту генератора f_0 и, изменяя фазовый сдвиг фазовращателя и ослабление аттенюатора, добиваются минимальных показаний индикатора нуля и отсчитывают по шкале измерительного фазовращателя значение фазового сдвига φ_2 в градусах.

5.4.1.5 Начальный фазовый сдвиг $\varphi_{нач}$ в градусах вычисляют по формуле

$$\varphi_{нач} = |\varphi_1 - \varphi_2|. \qquad (6)$$

5.4.2. Измерение управляемого фазового сдвига

5.4.2.1 Устанавливают ПФ СВЧ в начальное фазовое состояние в соответствии с ТУ.

5.4.2.2 Устанавливают частоту генератора f_0 и, изменяя фазовый сдвиг фазовращателя и ослабление аттенюатора, добиваются минимальных показаний индикатора нуля и отсчитывают по шкале измерительного фазовращателя значение фазового сдвига φ_3 в градусах.

5.4.2.3 Устанавливают ПФ СВЧ в заданное фазовое состояние в соответствии с ТУ.

5.4.2.4 Устанавливают частоту генератора f_0 и, изменяя фазовый сдвиг фазовращателя и ослабление аттенюатора, добиваются минимальных показаний индикатора нуля и отсчитывают по шкале измерительного фазовращателя значение фазового сдвига φ_4 в градусах.

5.4.2.5 Управляемый фазовый сдвиг $\varphi_{упр}$ в градусах вычисляют по формуле

$$\varphi_{упр}=|\varphi_3-\varphi_4|. \qquad (7)$$

5.5 **Показатели точности измерений**

Погрешность измерения начального и управляемого фазовых сдвигов ПФ СВЧ с установленной вероятностью 0,95 находится в пределах $\pm 8°$.

6 МЕТОД III

6.1 **Принцип измерений**

Фазовый сдвиг ПФ СВЧ измеряют путем сравнения фазы двух сигналов СВЧ одинаковой амплитуды в сумматоре СВЧ, компенсируя изменение фазы одного из сигналов СВЧ регулировкой измерительного фазовращателя.

6.2 **Аппаратура**

6.2.1 Фазовый сдвиг измеряют на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 3.

6.2.2 Направленные ответвители должны иметь КСВН вторичных каналов не более 1,2.

6.2.3 Мощность на вх. 2 сумматора должна быть меньше мощности на вх. 1 сумматора при нулевых (начальных) ослаблениях аттенюаторов.

6.2.4 Разность электрических длин путей прохождения сигналов СВЧ, суммируемых в сумматоре СВЧ через цепочки элементов, в которые входят с одной стороны — направленный ответви-

тель 1, аттенюатор 1, измерительный фазовращатель 1, сумматор СВЧ, с другой стороны — направленный ответвитель 1, ПФ СВЧ с подключающими устройствами или отрезок регулярного волновода, направленный ответвитель 2, аттенюатор 2, измерительный фазовращатель 2, сумматор СВЧ должны находиться в пределах ±3600°.

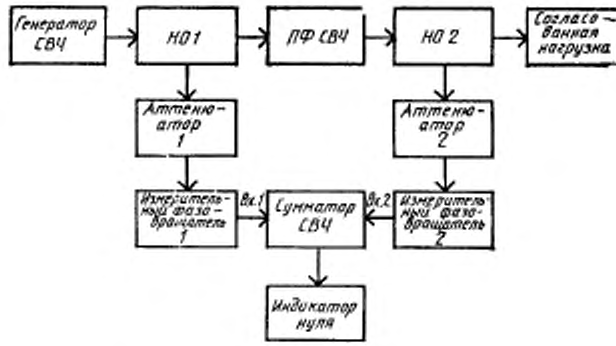

Рисунок 3

6.2.5 В качестве сумматора могут быть использованы щелевые мосты, двойные тройники и другие элементы, развязка между входными каналами которых не менее 20 дБ и КСВН входов не более 1,2.

6.2.6 Требования к индикатору нуля и переходному ослаблению направленных ответвителей — по 5.2.6.

6.3 **Подготовка к измерениям**

6.3.1 Перед началом измерений подготавливают все средства измерений в соответствии с их эксплуатационной документацией.

6.3.2 Устанавливают частоту генератора f_0, ослабление аттенюатора 2, равное предполагаемым потерям ПФ СВЧ, и, изменяя фазовый сдвиг измерительных фазовращателей и ослабление аттенюатора 1, добиваются минимальных показаний индикатора нуля и отсчитывают по шкале одного из фазовращателей значение фазового сдвига φ_0 в градусах. Изменяя фазовый сдвиг этого фазовращателя на ±1° относительно φ_0, определяют отклонение показаний по шкале индикатора, которое должно быть не менее 1 деления его шкалы. Чувствительность можно проверять как с ПФ СВЧ, так и с отрезком регулярной линии передачи.

6.4 **Проведение измерений**

6.4.1 Измерение начального фазового сдвига

6.4.1.1 Вместо ПФ СВЧ подключают отрезок регулярной линии передачи.

6.4.1.2 Устанавливают частоту генератора f_0, ослабление аттенюатора 2, превышающее в 1,5—2 раза потери ПФ СВЧ, и, изменяя фазовый сдвиг измерительных фазовращателей и ослабление аттенюатора 1, добиваются минимальных показаний индикатора нуля и отсчитывают по шкале измерительного фазовращателя 1 (измерительного фазовращателя 2) значение фазового сдвига φ_1 в градусах.

6.4.1.3 Вместо отрезка регулярной линии передачи подключают ПФ СВЧ.

6.4.1.4 Устанавливают частоту генератора f_0 и, изменяя фазовый сдвиг измерительного фазовращателя 1 (измерительного фазовращателя 2) и ослабление аттенюатора 1 (аттенюатора 2), добиваются минимальных показаний индикатора нуля и отсчитывают по шкале измерительного фазовращателя 1 (измерительного фазовращателя 2) значение фазового сдвига φ_2 в градусах.

6.4.1.5 Начальный фазовый сдвиг $\varphi_{нач}$ в градусах вычисляют по формуле

$$\varphi_{нач} = |\varphi_1 - \varphi_2|. \qquad (8)$$

6.4.2 Измерение управляемого фазового сдвига

6.4.2.1 Устанавливают ПФ СВЧ в начальное фазовое состояние в соответствии с ТУ.

6.4.2.2 Устанавливают частоту генератора f_0, ослабление аттенюатора 2, равное предполагаемым потерям ферритового прибора и, изменяя фазовый сдвиг измерительных фазовращателей и ослабление аттенюатора 1, добиваются минимальных показаний индикатора нуля и отсчитывают по шкале измерительного фазовращателя 1 (измерительного фазовращателя 2) значение фазового сдвига φ_3 в градусах.

6.4.2.3 Устанавливают ПФ СВЧ в заданное фазовое состояние в соответствии с ТУ.

6.4.2.4 Устанавливают частоту генератора f_0 и, изменяя фазовый сдвиг измерительного фазовращателя 1 (измерительного фазовращателя 2) и ослабление аттенюатора 1 (аттенюатора 2), добиваются минимальных показаний индикатора нуля и отсчитывают по шкале измерительного фазовращателя 1 (измерительного фазовращателя 2) значение фазового сдвига φ_4 в градусах.

6.4.2.5 Управляемый фазовый сдвиг $\varphi_{упр}$ в градусах вычисляют по формуле

$$\varphi_{упр}=|\varphi_3-\varphi_4|. \qquad (9)$$

6.5 **Показатели точности измерений**

Погрешность измерения начального и управляемого фазовых сдвигов ПФ СВЧ с установленной вероятностью 0,95 находится в пределах ±8°.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВЫХ СДВИГОВ

А1 Погрешность измерения начального фазового сдвига в градусах по методу 1 вычисляют по формуле

$$\Delta\varphi_{нач}=\pm 1{,}96\sqrt{\sigma_{p1}^2+\sigma_{к1}^2+\sigma_{НО1}^2+\sigma_f^2+2\sigma_{н.л}^2}\,, \qquad (A1)$$

где σ_{p1} — среднее квадратическое значение погрешности за счет рассогласования элементов тракта ВУМ, градус;

$\sigma_{к1}$ — среднее квадратическое значение погрешности за счет рассогласования элементов тракта НУМ, градус;

$\sigma_{НО1}$ — среднее квадратическое значение погрешности за счет конечной направленности ответвителя 1, градус;

σ_f — среднее квадратическое значение погрешности за счет нестабильности частоты генератора, градус;

$\sigma_{н.л}$ — среднее квадратическое значение погрешности измерения фазы коэффициента отражения измерительной линии, градус.

$$\sigma_{p1}=\pm\frac{57{,}3}{\sqrt{2}}\sqrt{\Gamma_{ф.п}^2(\Gamma_{о.к1}^2+\Gamma_{о.к2}^2+\Gamma_{п.у1}^2+\Gamma_{п.у2}^2+\Gamma_н^2)+(\Gamma_{о.к1}^2+\Gamma_{п.у1}^2)\times}$$
$$\overline{\times(\Gamma_{о.к2}^2+\Gamma_{п.у2}^2+\Gamma_н^2)(1+Q_{пр}^2Q_{обр}^2)}\,, \qquad (A2)$$

где $\Gamma_{ф.п}$, $\Gamma_н$, $\Gamma_{о.к1}$, $\Gamma_{о.к2}$, $\Gamma_{п.у1}$, $\Gamma_{п.у2}$ — модули коэффициентов отражения ПФ СВЧ, нагрузки, основных каналов направленных ответвителей 1 и 2, соответственно подключающих устройств, включенных между ПФ СВЧ и направленными ответвителями 1 и 2 соответственно

$$\Gamma=\frac{K_{ст\,U}-1}{K_{ст\,U}+1}\,, \qquad (A3)$$

где $K_{ст\,U}$ — значение КСВН элемента или цепочки элементов,

$$Q_{пр}=10^{-\frac{|\alpha_{пр}|}{20}}\,, \qquad (A4)$$

$$Q_{обр}=10^{-\frac{|\alpha_{обр}|}{20}}, \qquad (A5)$$

где $\alpha_{пр}$, $\alpha_{обр}$ — потери ПФ СВЧ в прямом и обратном направлениях, дБ.

$$\sigma_{н1}=\pm\frac{57{,}3}{\sqrt{2}}\,2\sqrt{\Gamma^2_{в.к1}+\Gamma^2_{в.к2}}\left(\sin\frac{\varphi}{2}\right), \qquad (A6)$$

где $\Gamma_{в.к1}$, $\Gamma_{в.к2}$ — модули коэффициентов отражения вторичного канала направленных ответвителей 1 и 2 соответственно;

φ — значение измеряемого фазового сдвига, градус.

$$\sigma_{НО1}=\pm\frac{57{,}3}{\sqrt{2}}\,10^{-\frac{|B_1|}{20}}\sqrt{\Gamma^2_{ф.п}+(\Gamma^2_{о.к2}+\Gamma^2_{п.у2}+\Gamma^2_{н})(1+Q^2_{пр}\,Q^2_{обр})}, \qquad (A7)$$

где B_1 — направленность ответвителя 1

$$\sigma_f=\pm\frac{\theta_p\delta_r}{\sqrt{3}}\cdot K, \qquad (A8)$$

где θ_p — разность электрических длин суммируемых сигналов, градус;

δ_r — нестабильность частоты генератора за время измерения.

$K=1$ — для коаксиальных трактов.

$K=2$ — для волноводных трактов.

$\delta_{к.л}$ вычисляют по ГОСТ 11294 для КСВН, рассчитанного по формуле

$$K_{ст\,U}=\frac{1+10^{-\left|\frac{\beta}{20}\right|}}{1+10^{-\left|\frac{\beta}{20}\right|}}, \qquad (A9)$$

где β — отношение сигналов на входах измерительной линии, дБ.

А2 Погрешность измерения управляемого фазового сдвига $\Delta\varphi_{упр}$ в градусах по методу I вычисляют по формуле

$$\Delta\varphi_{упр}=\pm1{,}96\sqrt{\sigma^2_{в2}+\sigma^2_{н1}+\sigma^2_{НО2}+\sigma^2_f+\sigma^2_{к.л}}, \qquad (A10)$$

где $\sigma_{к2}$ — среднее квадратическое значение погрешности за счет рассогласования тракта ВУМ, градус;

$\sigma_{НО2}$ — среднее квадратическое значение погрешности за счет конечной направленности ответвителя 1, градус

$$\sigma_{в2}=\pm\frac{57{,}3}{\sqrt{2}}\sqrt{2\Gamma^2_{ф.п}(\Gamma^2_{о.к1}+\Gamma^2_{о.к2}+\Gamma^2_{п.у1}+\Gamma^2_{п\,у2}+\Gamma^2_{н})+2Q^2_{пр}\,Q^2_{обр}}\cdot\sqrt{(\Gamma^2_{о.к1}+\Gamma^2_{п.у1})\,(\Gamma^2_{о.к2}+\Gamma^2_{п.у2}+\Gamma^2_{н})}, \qquad (A11)$$

$$\sigma_{НО2}=\pm\frac{57{,}3}{\sqrt{2}}\,10^{-\left|\frac{B_1}{20}\right|}\sqrt{2\Gamma^2_{ф.п}+2Q^2_{пр}\,Q^2_{обр}(\Gamma^2_{о.к2}+\Gamma^2_{п.у2}+\Gamma^2_{н})}. \qquad (A12)$$

А3 Погрешность измерения начального фазового сдвига $\Delta\varphi_{нач}$ в градусах по методу II вычисляют по формуле

$$\Delta\varphi_{\text{нач}}=\pm 1{,}96\sqrt{\sigma_{\text{в1}}^2+\sigma_{\text{в2}}^2+\sigma_{\text{НОЗ}}^2+\sigma_f^2+\sigma_\phi^2+\sigma_a^2+2\sigma_{\text{н}}^2}\,, \qquad \text{(A13)}$$

где $\sigma_{\text{в2}}$ — среднее квадратическое значение погрешности за счет рассогласования элементов тракта НУМ, градус;

$\sigma_{\text{НОЗ}}$ — среднее квадратическое значение погрешности за счет конечной направленности ответвителей, градус;

σ_ϕ — среднее квадратическое значение погрешности за счет измерительного фазовращателя, градус;

σ_a — среднее квадратическое значение погрешности за счет фазового сдвига, вносимого аттенюатором, градус;

$\sigma_{\text{н}}$ — среднее квадратическое значение погрешности за счет конечной чувствительности индикатора, градус

$$\sigma_{\text{в2}}=\pm\frac{57{,}3}{\sqrt{2}}\sqrt{\Gamma_{\text{в.к1}}^2(Q_{1a}^2+Q_{2a}^2)(\Gamma_\phi^2+\Gamma_{\text{в}}^2+Q_{\text{обр.в}}^2\Gamma_{\text{в.к2}}^2)+2\Gamma_a^2\Gamma_{\text{в.к1}}^2+}$$

$$\overline{+2\Gamma_a^2(\Gamma_\phi^2+\Gamma_{\text{в}}^2+Q_{\text{обр.в}}^2\Gamma_{\text{в.к2}}^2)+2\Gamma_\phi^2(\Gamma_{\text{в}}^2+Q_{\text{обр.в}}^2\Gamma_{\text{в.к2}}^2)}\,, \qquad \text{(A14)}$$

где Γ_a, Γ_ϕ, $\Gamma_{\text{в}}$ — модули коэффициентов отражения аттенюатора, измерительного фазовращателя, вентиля со стороны входа соответственно;

$$Q_{1a}=10^{-\frac{|\alpha_{1a}|}{20}}\,, \qquad \text{(A15)}$$

$$Q_{2a}=10^{-\frac{|\alpha_{2a}|}{20}} \qquad \text{(A16)}$$

где α_{1a}, α_{2a} — ослабление аттенюатора при снятии отсчета φ_1 и φ_2 или φ_3 и φ_4 соответственно, дБ.

$$Q_{\text{обр.в}}=10^{-\frac{|\alpha_{\text{обр.в}}|}{20}}\,, \qquad \text{(A17)}$$

где $\alpha_{\text{обр.в}}$ — обратные потери вентиля, дБ.

$$\sigma_\phi=\pm\frac{\sqrt{2}\,\Delta_\phi}{\sqrt{3}}\,, \qquad \text{(A18)}$$

или

$$\text{или}\quad \sigma_\phi=\pm\frac{\Delta_{\phi.\text{р}}}{\sqrt{6}}\,. \qquad \text{(A19)}$$

где Δ_ϕ — погрешность установления фазового сдвига измерительного фазовращателя, градус;

$\Delta_{\phi.\text{р}}$ — погрешность разности двух фазовых сдвигов φ_1 и φ_2 или φ_3 и φ_4 измерительного фазовращателя, градус.

$$\sigma_a=\pm\frac{\alpha_{\phi.\text{п}}\Delta_a}{\sqrt{3}}\,; \qquad \text{(A20)}$$

где $\alpha_{\phi.\text{п}}$ — потери ПФ СВЧ в прямом направлении, дБ;

Δ_a — изменение фазового сдвига, вносимого аттенюатором, при изменении ослабления, градус/дБ.

$$\sigma_{\text{и}}=\pm 0{,}5\,\frac{\Delta_{\text{и}}}{\sqrt{3}}\ , \qquad \text{(A21)}$$

где $\Delta_{\text{и}}$ — изменение фазового сдвига измерительного фазовращателя при балансе схемы, вызывающее изменение показаний индикатора нуля, относительно минимума, на 1° деление.

$$\sigma_{\text{НОЗ}}=\pm\frac{57{,}3}{\sqrt{2}}\sqrt{Q_{\text{п1}}^2[\Gamma_{\text{ф.п}}^2+(1+Q_{\text{пр}}^2Q_{\text{обр}}^2)(\Gamma_{\text{о.к2}}^2+\Gamma_{\text{п.у2}}^2+\Gamma_{\text{н}}^2)]+}$$

$$\overline{+Q_{\text{обр.в}}^2(Q_{\text{п2}}^2+\Gamma_{\text{н}}^2)[2\Gamma_{\text{ф}}^2+2\Gamma_{\text{а}}^2+(Q_{1\text{в}}^2+Q_{2\text{в}}^2)\Gamma_{\text{в.к1}}^2]}\ , \qquad \text{(A22)}$$

$$Q_{\text{п1}}=10^{-\frac{|B_1|}{20}}\ ; \qquad \text{(A23)}$$

$$Q_{\text{п2}}=10^{-\frac{|B_2|}{20}}\ , \qquad \text{(A24)}$$

где B_2 — направленность ответвителя 2, дБ.

А4 Погрешность измерения управляемого фазового сдвига $\Delta\varphi_{\text{упр}}$ в градусах по методу II вычисляют по формуле

$$\Delta\varphi_{\text{упр}}=\pm 1{,}96\sqrt{\sigma_{\text{в2}}^2+\sigma_{\text{и2}}^2+\sigma_{\text{НО4}}^2+\sigma_{f}^2+\sigma_{\phi}^2+\sigma_{\text{а}}^2+2\sigma_{\text{и}}^2}\ , \qquad \text{(A25)}$$

где $\sigma_{\text{НО4}}$ — среднее квадратическое значение погрешности за счет конечной направленности ответвителей, градус

$$\sigma_{\text{НО4}}=\pm\frac{57{,}3}{\sqrt{2}}\sqrt{2Q_{\text{п}f}[\Gamma_{\text{ф.п}}^2+Q_{\text{пр}}^2Q_{\text{обр}}^2(\Gamma_{\text{о.к2}}^2+\Gamma_{\text{п.у2}}^2+\Gamma_{\text{н}}^2)]+}$$

$$\overline{+Q_{\text{обр.в}}^2(Q_{\text{п2}}^2+\Gamma_{\text{н}}^2)[2\Gamma_{\text{ф}}^2+2\Gamma_{\text{а}}^2+(Q_{1\text{в}}^2+Q_{2\text{в}}^2)\Gamma_{\text{в.к1}}^2]} \qquad \text{(A26)}$$

А5 Погрешность измерения начального фазового сдвига $\Delta\varphi_{\text{упр}}$ в градусах по методу III вычисляют по формуле

$$\Delta\varphi_{\text{нач}}=\pm 1{,}96\sqrt{\sigma_{\text{в1}}^2+\sigma_{\text{и3}}^2+\sigma_{\text{НО1}}^2-\sigma_{\text{с}}^2+\sigma_{f}^2+\sigma_{\phi}^2+\sigma_{\text{а}}^2+2\sigma_{\text{и}}^2}\ , \qquad \text{(A27)}$$

где $\sigma_{\text{и3}}$ — среднее квадратическое значение погрешности за счет рассогласования тракта ИУМ, градус;

$\sigma_{\text{с}}$ — среднее квадратическое значение погрешности за счет конечной развязки сумматора, градус

$$\sigma_{\text{и3}}=\pm\frac{5{,}73}{\sqrt{2}}\sqrt{[\Gamma_{\text{в.к}i}^2(Q_{1\text{а}i}^2+Q_{2\text{а}i}^2)+2\Gamma_{\text{а}i}^2][\Gamma_{\phi i}^2+\Gamma_{\text{с}i}^2+Q_{\text{с}}^4(\Gamma_{\phi j}^2+\Gamma_{\text{а}j}^2)]+}$$

$$\overline{+2\Gamma_{\text{в.к2}}^2\Gamma_{\text{а}j}^2+\Gamma_{\phi i}^2[2\Gamma_{\text{с}j}^2+2Q_{\text{с}}^4\Gamma_{\phi j}^2+2Q_{\text{с}}^4\Gamma_{\text{а}j}^2+Q_{\text{с}}^4(Q_{1\text{а}j}^2+Q_{2\text{а}j}^2)\Gamma_{\text{в.к}j}^2]+}$$

$$\overline{+\Gamma_{\text{в.к}i}^2\Gamma_{\text{в.к}j}^2(Q_{1\text{а}i}^2Q_{1\text{а}j}^2+Q_{2\text{а}i}^2Q_{2\text{а}j}^2)} \qquad \text{(A28)}$$

$$Q_{\text{с}}=10^{-\frac{|R|}{20}}\ , \qquad \text{(A29)}$$

где R — развязка между входами 1 и 2 сумматора, дБ;

i, j — номер аттенюатора или измерительного фазовращателя по схеме.

При проведении отсчета фазового сдвига по измерительному фазовращателю 1—$i=1$, $j=2$, по измерительному фазовращателю 2—$i=2$, $j=1$.

$$\sigma_c = \pm \frac{57,3}{\sqrt{2}} \cdot 10^{-\frac{|R|}{20}} \sqrt{2\Gamma_{\text{ф}i} + 2\Gamma_{\text{а}i} + (Q_{1\text{а}i} + Q_{2\text{а}i})\Gamma^2_{\text{в.н}i}}\,. \qquad (\text{А}30)$$

А6 Погрешность измерения управляемого фазового сдвига $\Delta\varphi_{\text{упр}}$ в градусах по методу III вычисляют по формуле

$$\Delta\varphi_{\text{упр}} = \pm 1,96 \sqrt{\sigma^2_{\text{в}2} + \sigma^2_{\text{из}} + \sigma^2_{\text{НО}2} + \sigma^2_{\text{с}} + \sigma^2_{j} + \sigma^2_{\text{ф}} + \sigma^2_{\text{а}} + 2\sigma^2_{\text{н}}} \qquad (\text{А}31)$$

УДК 621.317.34.001.4:006.354 Э29 ОКС 29.100.10 ОКП 63 4600

Ключевые слова: приборы ферритовые СВЧ; методы измерения; фазовый сдвиг; высокий уровень мощности

gost.e-ecolog.ru