

**ДИОДЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СВЧ  
СМЕСИТЕЛЬНЫЕ**

**Методы измерения потерь преобразования**

Semiconductor UHF mixer diodes. Measurement  
methods of conversion losses

**ГОСТ  
19656.4—74\***

**(СТ СЭВ 3408—81)**

Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров  
СССР от 29 марта 1974 г. № 753 срок введения установлен

с 01.07.75

Проверен в 1982 г. Постановлением Госстандарта от 25.01.83 № 387  
срок действия продлен

до 01.07.87

**Несоблюдение стандарта преследуется по закону**

Настоящий стандарт распространяется на полупроводниковые диоды СВЧ смесительные и устанавливает в диапазоне частот от 0,3 до 78,3 ГГц методы измерения потерь преобразования  $L_{прб}$ :

дифференциальный метод;

метод амплитудной модуляции.

Методы измерений  $L_{прб}$  в диапазоне частот от 78,3 до 300 ГГц следует устанавливать в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

Стандарт соответствует СТ СЭВ 3408—81 (см. справочное приложение 1) и Публикации МЭК 147—2К в части принципа измерения.

Общие требования при измерении должны соответствовать ГОСТ 19656.0—74 и настоящего стандарта.

(Измененная редакция, Изм. № 2).

### 1. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД

Потери преобразования дифференциальным методом определяют измерением приращения выпрямленного среднего тока диода при соответствующем приращении СВЧ мощности сигнала на его входе.

Издание официальное

Перепечатка воспрещена



\* Переиздание (октябрь 1984 г.) с Изменениями № 1, № 2, утвержденными в июле 1976 г., январе 1983 г.; Пост. № 387 от 25 01.83 (ИУС № 7—1976 г., ИУС № 5—1983 г.)

1.1. Условия и режим измерения

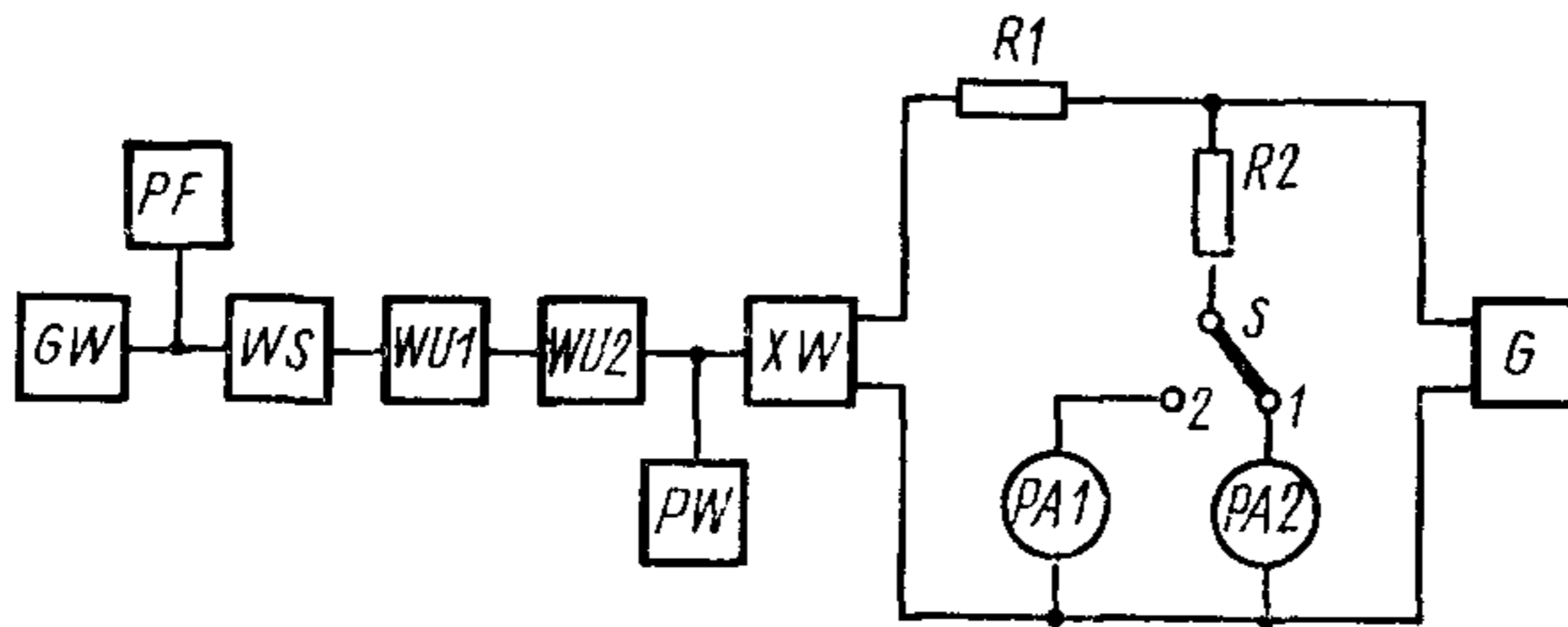
1.1.1. Условия и режим измерения — по ГОСТ 19656.0—74.

1.1, 1.1.1. (Измененная редакция, Изм. № 2).

1.1.2. (Исключен, Изм. № 2).

1.2. Аппаратура

1.2.1. Измерение потерь преобразования проводят на установке, структурная схема которой приведена на черт. 1.



*GW*—генератор СВЧ; *PF*—частотомер; *WS*—ферритовый вентиль, *WU1*—переменный аттенюатор; *WU2*—переменный прецизионный аттенюатор; *PW*—измеритель мощности; *XW*—измерительная диодная камера; *R<sub>1</sub>*, *R<sub>2</sub>*—резисторы нагрузки, *G*—генератор постоянного тока; *S*—переключатель; *PA1*—микроамперметр; *PA2*—миллиамперметр.

Черт. 1

1.2.2. Основные элементы, входящие в структурную схему, должны соответствовать следующим требованиям.

1.2—1.2.2. (Измененная редакция, Изм. № 2).

1.2.2.1. Переменный прецизионный аттенюатор *WU2* должен иметь начальный участок шкалы от 0 до 10 дБ с ценой деления не более 0,1 дБ. Абсолютная погрешность установки ослабления должна находиться в пределах  $\pm (0,01 + 0,005 A)$ , где *A* — устанавливаемое ослабление.

Измененная редакция, Изм. № 1, 2).

1.2.2.2. Значения сопротивлений резисторов *R1* и *R2* выбирают из условия

$$R_1 + R_2 + R_{\text{вн}} = r_{\text{вых, ср}}$$

где  $R_{\text{вн}}$  — внутреннее сопротивление микроамперметра *PA1*;

$r_{\text{вых, ср}}$  — среднее значение выходного сопротивления измеряемых диодов, при этом  $R_1 = R_{\text{пос}}$ ;

$R_{\text{пос}}$  — нагрузка диода по постоянному току.

Значение суммы сопротивлений должно быть установлено с относительной погрешностью в пределах  $\pm 1\%$ .

1.2.2.3. Генератор постоянного тока *G* должен обеспечивать компенсацию выпрямленного тока диода.

Выходное сопротивление генератора тока должно удовлетворять неравенству

$$R_{\text{ГТ}} \geq 50 (R_2 + R_{\text{ВН}}).$$

Относительная нестабильность тока компенсации за 15 мин не должна выходить за пределы  $\pm 0,1\%$ .

1.2.2.4. Измерительные приборы  $PA1$  и  $PA2$  должны иметь класс точности не хуже 1 и внутреннее сопротивление  $R_{\text{ВН}} \leq 10$  Ом.

1.2.2.2—1.2.2.4. (Измененная редакция, Изм. № 2).

1.2.2.5. (Исключен, Изм. № 2).

1.3. Проведение измерения и обработка результатов

1.3.1. Устанавливают заданный по частоте режим измерения. Прецизионный аттенюатор  $WU2$  устанавливают на начальном участке шкалы на целое число делений в пределах  $0,1 \div 0,3$ .

С помощью аттенюатора  $WU1$  устанавливают на входе диодной камеры заданный режим измерения по мощности  $P_0$ .

1.3.2. Переключатель  $S$  ставят в положение 1.

Измеряемый диод вставляют в измерительную диодную камеру.

Компенсируют выпрямленный ток диода до нулевого показания миллиамперметра  $PA2$ . Затем переводят переключатель  $S$  в положение 2 и доводят компенсацию до нуля по микроамперметру  $PA1$ .

1.3.3. Увеличивают на  $\Delta P_0$  уровень СВЧ мощности при помощи аттенюатора  $WU2$  в пределах от 0,2 до 0,3 дБ и измеряют значение соответствующего выпрямленного тока  $\Delta I_{\text{ВП}}$ .

1.3—1.3.3. (Измененная редакция, Изм. № 2).

1.3.4. Определяют потери преобразования  $L_{\text{прб}}$  в дБ по формуле

$$L_{\text{прб}} = 10 \lg \frac{1}{2P_1 \left( \frac{\Delta I_{\text{ВП}}}{\Delta P_0} \right)^2 (R_1 + R_2 + R_{\text{ВН}})},$$

где  $P_1 = P_0 + \frac{\Delta P_0}{2}$ .

(Введен дополнительно, Изм. № 2).

1.4. Показатели точности измерений

1.4.1. Погрешность измерения потерь преобразования в диапазоне частот от 0,3 до 37,5 ГГц должна быть в пределах  $\pm 9\%$  с доверительной вероятностью 0,997. В диапазоне частот от 37,5 до 300 ГГц показатели точности измерения должны соответствовать установленным в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

1.4, 1.4.1. (Измененная редакция, Изм. № 2).

1.4.2. Расчет погрешности измерения потерь преобразования приведен в справочном приложении 2.

(Введен дополнительно, Изм. № 2).

## 2. МЕТОД АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Потери преобразования методом амплитудной модуляции определяют измерением напряжения промежуточной частоты (частоты модуляции) на нагрузке диода и среднего значения падающей на диод СВЧ мощности при известном значении коэффициента модуляции.

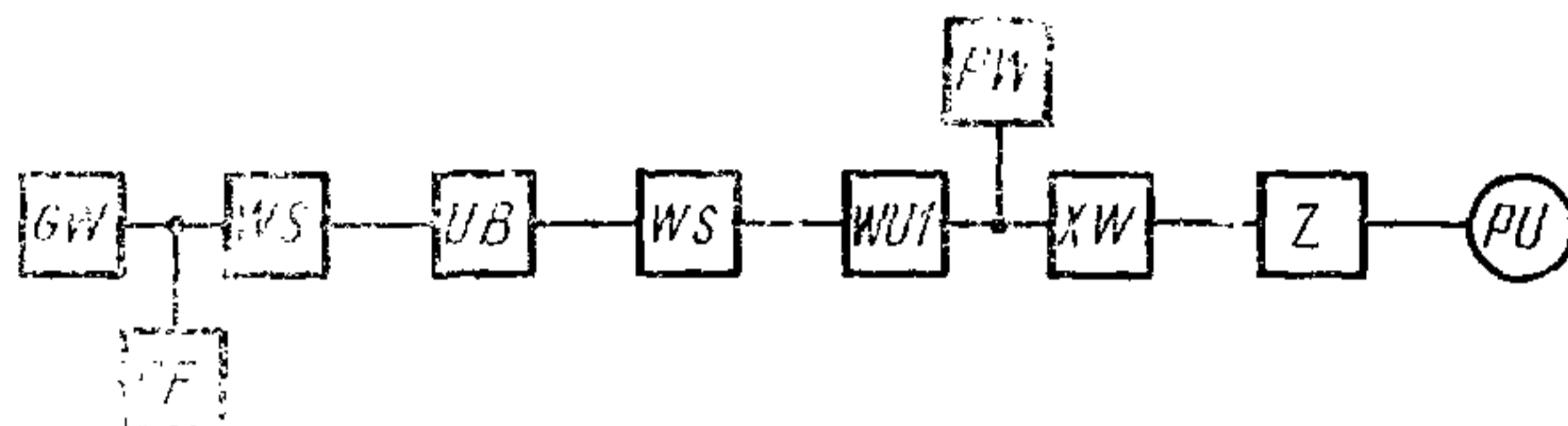
2.1. Условия и режим измерения

2.1.1. Условия и режим измерения — по ГОСТ 19656.0—74.

2.1.2. (Исключен, Изм. № 2).

2.2. Аппаратура

2.2.1. Измерение потерь преобразования проводят на установке, структурная схема которой приведена на черт. 2.



GW—генератор СВЧ; PF—частотомер; WS—вентили; UB—модулятор; WU1—аттенюатор; PW—измеритель мощности; XW—измерительная диодная камера; Z—блок нагрузок; PU—милливольтметр.

Черт. 2

2.2, 2.2.1. (Измененная редакция, Изм. № 2).

2.2.2. Основные элементы, входящие в структурную схему, должны соответствовать следующим требованиям.

2.2.2.1. Модулятор UB, модулирующий падающую СВЧ волну по амплитуде, должен иметь следующие характеристики:

значение коэффициента модуляции по напряжению  $m$  модулятора не должно выходить за пределы  $0,04 \div 0,12$ , относительная погрешность измерения коэффициента модуляции не должна выходить за пределы  $\pm 4\%$ ;

частота модуляции должна находиться в диапазоне от  $10^7$  до 20 кГц;

относительная нестабильность частоты модуляции не должна выходить за пределы  $\pm 2\%$ ;

форма модуляционной кривой — синусоида.

2.2.2.2. Блок нагрузок Z должен обеспечивать нагрузки диода по переменному (на частоте модуляции) току  $R_m$  и постоянному току  $R_{пос}$ , при этом  $R_m = r_{вых, ср}$ , где  $r_{вых, ср}$  — среднее значение выходного сопротивления измеряемых диодов.



Выбранные значения сопротивлений должны быть известны с относительной погрешностью в пределах  $\pm 1\%$ .

2.2.2.3. Милливольтметр переменного тока  $PU$  должен измерять действующее напряжение на частоте модуляции при сопротивлении нагрузки диода  $R_M$ . Класс точности милливольтметра — не хуже 1,5.

2.2.2.1—2.2.2.3. (Измененная редакция, Изм. № 2).

2.2.2.4. (Исключен, Изм. № 2).

2.3. Проведение измерения

2.3.1. Устанавливают заданный по частоте режим измерения. На входе измерительной диодной камеры при помощи аттенюатора  $WU1$  при работающем модуляторе устанавливают заданное значение мощности  $P_0$ .

2.3.2. В измерительную диодную камеру вставляют измеряемый диод и по милливольтметру отмечают значение напряжения  $U$ .

2.3.3. Определяют потери преобразования  $L_{прб}$  в дБ по формуле

$$L_{прб} = 10 \lg \frac{m^2 P_0 R_M}{U^2},$$

(Введен дополнительно, Изм. № 2).

2.4. Показатели точности измерений

2.4.1. Погрешность измерения потерь преобразования в диапазоне частот от 0,3 до 37,5 ГГц должна быть в пределах  $\pm 12\%$  с доверительной вероятностью 0,997. В диапазоне частот от 37,5 до 300 ГГц пределы погрешности должны соответствовать установленным в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

2.4, 2.4.1. (Измененная редакция, Изм. № 2).

2.4.2. Расчет погрешности измерения потерь преобразования приведен в справочном приложении 2.

(Введен дополнительно, Изм. № 2).

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ О СООТВЕТСТВИИ ГОСТ 19656.4—74  
СТ СЭВ 3408—81**

ГОСТ 19656.4—74 соответствует разд. 5 и 6 СТ СЭВ 3408—81.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

Справочное

**РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

При расчете погрешности принят нормальный закон распределения составляющих погрешности и суммарной погрешности.

1. Д и ф ф е р е н ц и а л ь н ы й м е т о д

1.1. Потери преобразования в относительных единицах (см. настоящий стандарт) рассчитывают по формуле

$$L_{\text{прб}} = \frac{1}{2P_1 \left( \frac{\Delta I_{\text{вп}}}{\Delta P_0} \right)^2 \cdot (R_1 + R_2 + R_{\text{вн}})}, \quad (1)$$

где  $P_1 = P_0 + \frac{\Delta P_0}{2}$ .

Если принять, что  $\Delta P_0 = P_0 \Delta A$ , где  $\Delta A$  — устанавливаемое при помощи аттенюатора калиброванное изменение уровня мощности (в относительных единицах), и установить  $R_1 + R_2 + R_{\text{вн}} = R_{\text{пч}}$ , то формула (1) принимает вид

$$L_{\text{прб}} = \frac{P_0}{(2 + \Delta A) \cdot \left( \frac{\Delta I_{\text{вп}}}{\Delta A} \right)^2 \cdot R_{\text{пч}}}. \quad (2)$$

Логарифмируем формулу (2) и после почленного дифференцирования с заменой дифференциалов приращениями получаем

$$\frac{\Delta L_{\text{прб}}}{L_{\text{прб}}} = \frac{\Delta P_0}{P_0} - 2 \frac{\Delta(\Delta I_{\text{вп}})}{\Delta I_{\text{вп}}} - \frac{\Delta R_{\text{пч}}}{R_{\text{пч}}}. \quad (3)$$

При дифференцировании формулы (2) считаем  $\Delta A$  постоянной величиной, так как погрешность установки калиброванного приращения  $\Delta A$  ничтожно мала.

1.2. Из формулы (3) следует, что искомая погрешность  $\delta L_{\text{прб}}$  равна

$$\delta L_{\text{прб}} = \pm \sqrt{\delta P_0^2 + 4(\delta \Delta I_{\text{вп}})^2 + \delta R_{\text{пч}}^2}, \quad (4)$$

где  $\delta P_0$  — погрешность измерения уровня СВЧ мощности;

$\delta \Delta I_{\text{вп}}$  — погрешность измерения приращения выпрямленного тока;

$\delta R_{\text{пч}}$  — погрешность установления значения суммы сопротивлений.

$$R_{\text{пч}} = R_1 + R_2 + R_{\text{в1}}.$$

1.3. Погрешность  $\delta P_0$  (см. ГОСТ 19656.0—74) для уровней мощности  $10^{-3}$ — $5 \cdot 10^{-3}$  Вт (что соответствует режимам измерений смесительных диодов) равна  $\pm 7\%$ .

1.4. Погрешность  $\delta \Delta I_{\text{вп}}$  вычисляют по формуле

$$\delta \Delta I_{\text{вп}} = \pm \sqrt{\delta I_1^2 + \delta I_2^2}, \quad (5)$$

где  $\delta I_1$  — погрешность измерения первого значения тока, в середине шкалы прибора класса 1,0, равная  $\pm 2\%$ ;

$\delta I_2$  — погрешность измерения второго значения тока на конце шкалы прибора класса 1,0, равная  $\pm 1\%$ .

Подставив в формулу (5) значения  $\delta I_1$  и  $\delta I_2$ , получаем  $\delta \Delta I_{\text{вп}} = \pm 2,2\%$ .

1.5. Погрешность  $\delta R_{\text{пч}}$  в соответствии с требованиями стандарта равна  $\pm 1\%$ .

1.6. Подставив в формулу (4) значения  $\delta P_0$ ,  $\delta \Delta I_{\text{вп}}$  и  $\delta R_{\text{пч}}$ , получаем  $\delta L_{\text{прб}} = \pm 8,4\%$ . Принимаем  $\delta L_{\text{прб}}$  равной  $\pm 9\%$ .

2. Метод амплитудной модуляции

2.1. Потери преобразования в относительных единицах (см. настоящий стандарт) рассчитывают по формуле

$$L_{\text{прб}} = \frac{m^2 P_0 R_{\text{м}}}{U^2}. \quad (6)$$

Логарифмируем формулу (6) и после почленного дифференцирования с заменой дифференциалов приращениями получаем

$$\frac{\Delta L_{\text{прб}}}{L_{\text{прб}}} = 2 \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta R_{\text{м}}}{R_{\text{м}}} + \frac{\Delta P_0}{P_0} - 2 \frac{\Delta U}{U}. \quad (7)$$

2.2. Из формулы (7) следует, что искомая погрешность  $\delta L_{\text{прб}}$  равна

$$\delta L_{\text{прб}} = \pm \sqrt{4 (\delta m)^2 + \delta R_{\text{м}}^2 + \delta P_0^2 + 4 (\delta U)^2}, \quad (8)$$

где  $\delta m$  — погрешность определения коэффициента модуляции;

$\delta R_{\text{м}}$  — погрешность определения нагрузки диода по переменному току;

$\delta P_0$  — погрешность измерения уровня СВЧ мощности;

$\delta U$  — погрешность показания милливольтметра.

2.3. Погрешность  $\delta m$  для механического модулятора поляризационного типа принимаем (см. справочное приложение 3) равной  $\pm 4\%$ .

2.4. Расчет погрешности определения коэффициента модуляции поляризационного модулятора приведен в справочном приложении 3.

2.5. Погрешность  $\delta R_{\text{м}}$  в соответствии с требованиями настоящего стандарта равна  $\pm 1\%$ .

2.6. Погрешность  $\delta P_0$  (см. ГОСТ 19656.0—74) равна  $\pm 7\%$ .

2.7. Погрешность  $\delta U$  милливольтметра класса 1,5 при измерении напряжения в середине шкалы прибора равна  $\pm 3\%$ .

2.8. Подставляя в формулу (8) значения  $\delta m$ ,  $\delta R_{\text{м}}$ ,  $\delta P_0$  и  $\delta U$ , получаем  $\delta L_{\text{прб}} = \pm 12\%$ .

### РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОДУЛЯЦИИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО МОДУЛЯТОРА

1. Кривую модуляции СВЧ мощности, создаваемой поляризационным модулятором, можно считать синусоидой. Поэтому модуляции  $m$  можно определять по двум точкам модуляционной кривой (максимальному и минимальному значениям СВЧ мощности на выходе модулятора).

2. Для повышения точности измерения  $m$  рекомендуется к выходу аттенюатора  $WU$  (см. черт. 2 настоящего стандарта) присоединить измерительную линию, нагруженную на согласованную нагрузку (с  $K_{сг} \leq 1,05$ ). Детектор зонда измерительной линии должен работать в квадратичном режиме.

Микроамперметр измерительной линии должен иметь класс не хуже 1,0 и число шкалы не менее 100.

3. Коэффициент модуляции рассчитывают по формуле

$$m = \frac{\sqrt{\alpha_{\max}} - \sqrt{\alpha_{\min}}}{\sqrt{\alpha_{\max}} + \sqrt{\alpha_{\min}}}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{\max}$ ,  $\alpha_{\min}$  — максимальное и минимальное показания микроамперметра при поворачивании модулятора от руки.

4. Дифференцируя формулу (1), получаем (после проведения преобразований и замены дифференциалов приращениями)

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\sqrt{\alpha_{\max} \cdot \alpha_{\min}}}{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}} \left| \frac{\Delta \alpha_{\max}}{\alpha_{\max}} - \frac{\Delta \alpha_{\min}}{\alpha_{\min}} \right|. \quad (2)$$

5. Из формулы (2) следует, что искомая погрешность равна

$$\delta m = \frac{\sqrt{\alpha_{\max} \cdot \alpha_{\min}}}{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}} \sqrt{(\delta \alpha_{\max})^2 + (\delta \alpha_{\min})^2}, \quad (3)$$

где  $\delta \alpha_{\max}$  и  $\delta \alpha_{\min}$  — погрешности отсчета по микроамперметру  $\alpha_{\max}$  и  $\alpha_{\min}$  соответственно. Эти погрешности зависят от того, в какой части шкалы прибора проводят измерения.

5.1. Для уменьшения погрешности  $\delta m$  измерения значений  $\alpha$  рекомендуется проводить в конце шкалы микроамперметра. При этом следует устанавливать (при помощи аттенюатора) значение  $\alpha_{\max}$  на самом конце шкалы, т. е.  $\alpha_{\max}$  должна быть равна 100 дел.

Таким образом, для определения  $m$  достаточно измерить одно (минимальное) значение  $\alpha$ .

5.2. Погрешность установления  $\alpha_{\max} = 100$  дел по микроамперметру класса 1,0 равна  $\pm 1\%$ .

Погрешность измерения  $\alpha_{\min}$  вычисляют по формуле

$$\delta \alpha_{\min} = \pm \frac{100}{\alpha_{\min}}, \% \quad (4)$$

6. Подставляя в формулу (3) значения  $\alpha_{\max}$ ,  $\delta \alpha_{\max}$  и  $\delta \alpha_{\min}$ , получаем

$$\delta m = \frac{10\sqrt{\alpha}}{100 - \alpha} \sqrt{\frac{1}{100^2} + \frac{1}{\alpha^2}}, \quad (5)$$

где под  $\alpha$  подразумевают  $\alpha_{\min}$ .



Погрешности, рассчитанные по формуле (5) для некоторых конкретных значений  $m$ , сведены в таблицу.

$m$	$\alpha$ (дел)	$\delta m, \%$
0,096	68	4,6
0,104	66	4,3
0,111	64	4,0
0,119	62	3,9
0,127	60	3,8

Из таблицы видно, что погрешность определения коэффициента модуляции поляризационного модулятора не превышает  $\pm 4\%$  при значениях  $m$  в интервале 0,11—0,12.

Примечание. Для исключения влияния на результат измерения  $m$  нестабильности уровня СВЧ мощности во время измерения следует следить за постоянством значения  $\alpha_{\max}$  (100 дел), а измерение  $\alpha_{\min}$  проводить несколько раз и находить среднее арифметическое значение этой величины.