

ДИОДЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СВЧ
СМЕСИТЕЛЬНЫЕ И ДЕТЕКТОРНЫЕ

Методы измерения шумового отношения

Semiconductor UHF mixer and detector diodes.
Measurement methods of output noise ratio

ГОСТ

19656.5-74*

(СТ СЭВ 3997-83)

ОКП 62 1800

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

с 01.07.75

Проверен в 1983 г. Постановлением Госстандарта от 30.05.83 № 2391
срок действия продлен

до 01.07.88

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт распространяется на полупроводниковые диоды СВЧ смесительные и детекторные и устанавливает 2 метода измерения шумового отношения при возбуждении диода:

СВЧ мощностью (в диапазоне частот от 0,3 до 78,3 ГГц) $N_{ш}$;
постоянным током $N_{ш1}$.

Стандарт соответствует полностью СТ СЭВ 3997-83 и Публикации МЭК 147-2К в части принципа измерения.

Общие требования при измерении и требования безопасности — по ГОСТ 19656.0-74.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

1. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ $N_{ш}$ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ДИОДА СВЧ
МОЩНОСТЬЮ

1.1. Принцип и режим измерения

1.1.1. Принцип измерения основан на сравнении мощности шума проверяемого диода, находящегося в рабочем режиме, с мощностью теплового шума резистора, сопротивление которого равно выходному сопротивлению диода $r_{вых}$, значение которого определяют по ГОСТ 19656.3-74.

Издание официальное

Перепечатка воспрещена

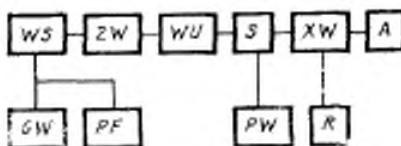


* Переиздание (октябрь 1984 г.) с Изменением № 1, утвержденным
в июне 1984 г.; Пост № 1946 от 15.06.84 (ИУС 9-84).

1.1.2. Режим измерения (уровень СВЧ мощности, длина волны или частота, на которой проводят измерения, сопротивление нагрузки диода по постоянному току, промежуточная частота и требования к измерительной камере) должен соответствовать установленным в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

1.2. Аппаратура

1.2.1. Шумовое отношение следует измерять на установке, схема которой приведена на черт. 1.



GW—генератор СВЧ мощности; *PF*—частотомер; *WS*—вынужд; *ZW*—фильтр СВЧ или другое устройство, обеспечивающее подавление шумов генератора *GW*; *WU*—переменный аттенюатор; *S*—переключатель СВЧ; *PW*—измеритель мощности; *XW*—измерительная диодная камера с диодом; *A*—усилитель промежуточной частоты; *R*—набор калибровочных резисторов

Черт. 1

1.2.2. Фильтр СВЧ *ZW*, обеспечивающий подавление шумов генератора *GW* на частотах измерения до 17,78 ГГц, должен удовлетворять следующим требованиям:

рабочая частота должна быть равна частоте измерения;

полоса пропускания $2\Delta f_1$ на уровне 25 дБ от вершины его частотной характеристики должна быть не более $2f_{\text{пп}}$ ($f_{\text{пп}}$ —промежуточная частота);

полоса пропускания $2\Delta f_2$ на уровне 0,5 дБ от вершины его частотной характеристики должна удовлетворять условию

$$2\Delta f_2 \geq 0,4(2\Delta f_1),$$

коэффициент стоячей волны по напряжению $K_{\text{ст}U}$ в полосе пропускания должен быть не более 1,2.

При использовании других устройств, обеспечивающих подавление шумов генератора *GW* на частотах измерения выше 17,78 до 78,3 ГГц, погрешность измерения шумового отношения должна быть в пределах, указанных в п. 1.5.

1.2.3. Усилитель промежуточной частоты *A* должен удовлетворять следующим требованиям:

рабочая частота должна соответствовать промежуточной частоте $f_{\text{пп}}$;

полоса пропускания должна быть не более $0,1 f_{\text{пп}}$;

эквивалентное шумовое сопротивление R_A , приведенное ко входу усилителя, должно быть не более 600 Ом;

входное сопротивление на промежуточной частоте $R_{\text{вх}}$ должно удовлетворять условию

$$R_{\text{вх}} \geq 20r_{\text{вых max}}$$

где $r_{\text{вых min}} - r_{\text{вых max}}$ — максимальное возможное значение выходного сопротивления проверяемых диодов.

Входное сопротивление по постоянному току должно быть равно сопротивлению нагрузки диода по постоянному току и установлено с погрешностью в пределах $\pm 1\%$;

параметры регулируемого входного контура должны обеспечивать настройку в резонанс с включенным диодом на частоте $f_{\text{п.}}$ в диапазоне значений реактивной составляющей выходного сопротивления проверяемого диода;

коэффициент усиления должен быть не менее 50 дБ с плавной регулировкой не менее 6 дБ;

относительная нестабильность коэффициента усиления должна быть в пределах $\pm 2\%$;

выходной каскад должен иметь детектор с квадратичной характеристикой, отклонение от квадратичности которой должно быть в пределах $\pm 2\%$;

индикаторный прибор на входе должен иметь класс точности не ниже 1,0;

переключатель на выходе усилителя должен обеспечивать постоянное короткое замыкание входной цепи, за исключением моментов калибровки и измерения.

1.2.4. Калибровочные резисторы, входящие в набор R , должны удовлетворять следующим требованиям:

номинальные значения сопротивлений резисторов должны перекрывать через 50-100 Ом весь диапазон значений от $r_{\text{вых min}} \cdot N_{\text{ш min}}$ до $r_{\text{вых max}} \cdot N_{\text{ш max}}$, где $r_{\text{вых min}}$ и $r_{\text{вых max}}$ — минимальное и максимальное значения выходных сопротивлений проверяемых диодов в партии, $N_{\text{ш min}}$ и $N_{\text{ш max}}$ — минимальное и максимальное значения их шумового отношения;

погрешность определения значений активных сопротивлений $R_{\text{ак}}$ резисторов должна быть в пределах $\pm 1\%$;

значение индуктивного сопротивления на промежуточной частоте должно быть не более $0,01 R_{\text{ак}}$;

геометрические размеры резисторов должны обеспечивать их включение в измерительную диодную камеру XW вместо проверяемых диодов.

1.3. Проведение измерений

1.3.1. Замыкают накоротко вход усилителя A и отмечают показание его индикаторного прибора $\alpha_{\text{из}}$. Изменяя усиление усили-

теля, рекомендуется устанавливать по индикаторному прибору целое число делений $a_{\text{из}}$ на одной трети шкалы прибора. Значение необходимо поддерживать плавной регулировкой усиления в течение всего периода измерений.

1.3.2. В измерительную диодную камеру XW вставляют калибровочный резистор из набора R , номинальное значение сопротивления которого близко к значению $r_{\text{вых max}} \cdot N_{\text{ш max}}$ и открывают вход усилителя. Регулировкой входного контура усилителя добиваются максимального показания его индикаторного прибора. Поочередно вставляя в камеру XW остальные резисторы из набора, фиксируют показания $a_1, a_2, a_3 \dots a_k$ для каждого значения $R_{\text{из}}$.

1.3.3. Ставят график зависимости $a = \psi(R_{\text{из}})$.

1.3.4. Режим измерения устанавливают в соответствии с п. 1.1.2.

1.3.5. В измерительную диодную камеру XW вставляют проверяемый диод, открывают вход усилителя и фиксируют показания a_d . По графику $a = \psi(R_{\text{из}})$ находят значение эквивалентного шумового сопротивления диода $R_{\text{шд}}$, соответствующее показанию a_d .

1.4. Обработка результатов

1.4.1. Шумовое отношение $N_{\text{ш}}$ в относительных единицах определяют по формуле

$$N_{\text{ш}} = \frac{R_{\text{шд}}}{r_{\text{вых}}},$$

где $R_{\text{шд}}$ — эквивалентное шумовое сопротивление диода, Ом;

$r_{\text{вых}}$ — выходное сопротивление диода, Ом.

На частотах выше 17,78 ГГц допускается измерение $N_{\text{ш}}$ другими методами, при этом погрешность измерения не должна превышать указанную в п. 1.5.

1.5. Показатели точности измерений

1.5.1. Погрешность измерения шумового отношения в диапазоне частот от 0,3 до 37,5 ГГц не должна выходить за пределы $\pm 20\%$ с доверительной вероятностью 0,997; в диапазоне частот выше 37,5 до 300 ГГц показатели точности измерения шумового отношения должны соответствовать установленным в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

1.5.2. Расчет показателей точности измерения шумового отношения приведен в обязательном приложении 2.

2. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ $N_{\text{ш1}}$ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ДИОДА ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

2.1. Принцип и режим измерения

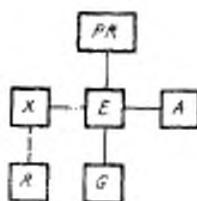
2.1.1. Принцип измерения основан на сравнении мощности шума проверяемого диода, находящегося в заданном режиме с мо-

ностью теплового шума резистора, сопротивление которого равно дифференциальному сопротивлению диода $r_{\text{диф}}$, значение которого определяют по ГОСТ 18986.14—75.

2.1.2. Режим измерения (значение постоянного прямого тока смещения, частота $f_{\text{изм}}$ и полоса частот $\Delta f_{\text{изм}}$, в которой регистрируют уровень шума) должен соответствовать установленному в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

2.2. Аппаратура

2.2.1. Шумовое отношение следует измерять на установке, схема которой приведена на черт. 2.



X —контактное устройство с проверяемым двойником; R —набор калибровочных резисторов; PR —измеритель сопротивления; E —распределительный блок; G —источник постоянного тока смещения; A —усилитель

Черт. 2

2.2.2. Контактное устройство X , обеспечивающее подключение проверяемого диода, должно удовлетворять следующим требованиям:

переходное сопротивление контактов должно быть не более 0,05 Ом;

экран контактного устройства должен обеспечивать отсутствие помех на выходном приборе усилителя A при его калибровке и проведении измерений.

2.2.3. Калибровочные резисторы, входящие в набор R , должны удовлетворять следующим требованиям:

номинальные значения сопротивлений резисторов должны перекрывать через 50—100 Ом весь диапазон значений от $r_{\text{диф min}} \cdot N_{\text{шт min}}$ до $r_{\text{диф max}} \cdot N_{\text{шт max}}$, где $r_{\text{диф min}}$ и $r_{\text{диф max}}$ — минимальное и максимальное значения дифференциальных сопротивлений проверяемых диодов в партии, $N_{\text{шт min}}$ и $N_{\text{шт max}}$ — минимальное и максимальное значения их шумового отношения;

погрешность определения значений активных сопротивлений $R_{\text{каб}}$ резисторов должна быть в пределах $\pm 1\%$;

значение индуктивного сопротивления на частоте измерения $f_{изм}$ должно быть не более $0,01 R_{изм}$;

геометрические размеры резисторов должны обеспечивать их включение в контактное устройство X вместо проверяемых диодов.

2.2.4. Схема PR измерения $r_{диф}$ должна соответствовать требованиям ГОСТ 19656.8—74.

2.2.5. Распределительный блок E , предназначенный для поочередного подключения проверяемого диода к усилителю A и к схеме измерения $r_{диф}$, должен в любом подключении обеспечивать подачу прямого тока смещения на проверяемый диод от источника G .

2.2.6. Источник постоянного тока смещения G должен удовлетворять следующим требованиям:

должна быть обеспечена плавная регулировка тока смещения от нулевого до заданного значения;

погрешность установления и поддержания тока смещения должна быть в пределах $\pm 10\%$;

стабильность тока смещения должна обеспечивать отсутствие помех на выходном приборе усилителя A при его калибровке и проведении измерений; при измерении $N_{шт}$ в низкочастотном диапазоне рекомендуется использование гальванических элементов.

2.2.7. Усилитель должен удовлетворять следующим требованиям:

рабочая частота и полоса пропускания должны соответствовать значениям по п. 2.1.2;

эквивалентное шумовое сопротивление R_A , приведенное ко входу усилителя, должно быть не более 600 Ом;

входное сопротивление $R_{вх}$ на частоте $f_{изм}$ должно удовлетворять условию

$$R_{вх} \geq 20 r_{диф\max}, \quad (1)$$

где $r_{диф\max}$ — максимальное значение дифференциального сопротивления проверяемых диодов;

коэффициент усиления должен быть не менее 50 дБ с плавной регулировкой не менее 6 дБ;

относительная нестабильность коэффициента усиления должна быть в пределах $\pm 2\%$;

выходной каскад должен иметь детектор с квадратичной характеристикой, отклонение от квадратичности которой должно быть в пределах $\pm 2\%$;

индикаторный прибор на выходе должен иметь класс точности не ниже 1,0;

переключатель на входе усилителя должен обеспечивать постоянное короткое замыкание входной цепи, за исключением моментов калибровки и измерения.

Примечание. Допускается использование усилителя с линейной амплитудной характеристикой. В этом случае при построении графика по п. 2.3.4 значение a возводят в квадрат и используют зависимость $a^2 = \Phi(R_{\text{кал}})$.

2.3. Проведение измерений

2.3.1. Замыкают накоротко вход усилителя A и отмечают показание его индикаторного прибора $a_{\text{из}}$. Рекомендуется, изменяя усиление усилителя, устанавливать по индикаторному прибору целое число делений $a_{\text{из}}$ на одной трети шкалы прибора. Значение $a_{\text{из}}$ необходимо поддерживать плавной регулировкой усиления в течение всего периода измерений.

2.3.2. С помощью распределительного блока E подключают контактное устройство X ко входу усилителя A .

2.3.3. В контактное устройство X поочередно устанавливают калибровочные резисторы из набора R и, открывая вход усилителя, по его выходному прибору отмечают показания $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$ для каждого значения $R_{\text{кал}}$.

2.3.4. Ставят график зависимости $a = \Phi(R_{\text{кал}})$.

2.3.5. В контактное устройство X помещают проверяемый диод и, плавно увеличивая значение прямого тока смещения, устанавливают заданный режим по постоянному току в соответствии с п. 2.1.2.

2.3.6. Открывают вход усилителя и фиксируют показание a_d .

2.3.7. Замыкают накоротко вход усилителя и с помощью распределительного блока E , подключают проверяемый диод к схеме PR для измерения $r_{\text{диф}}$. Проводят измерение $r_{\text{диф}}$ в соответствии с ГОСТ 19656.8—74.

2.3.8. По графику $a = \Phi(R_{\text{кал}})$ находят значение эквивалентного шумового сопротивления диода $R_{\text{шд}}$, соответствующее показанию a_d .

2.4. Обработка результатов

2.4.1. Вычисляют шумовое отношение $N_{\text{шд}}$ в относительных единицах по формуле

$$N_{\text{шд}} = \frac{R_{\text{шд}}}{r_{\text{диф}}}, \quad (2)$$

где $r_{\text{диф}}$ — дифференциальное сопротивление диода, Ом;

$R_{\text{шд}}$ — эквивалентное шумовое сопротивление диода, Ом.

2.5. Показатели точности измерений

2.5.1. Погрешность измерения шумового отношения не должна выходить за пределы $\pm 20\%$ с доверительной вероятностью 0,997.

2.5.2. Расчет показателей точности измерения шумового отношения приведен в обязательном приложении 2.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ О СООТВЕТСТВИИ ГОСТ 19656.5—74
(СТ СЭВ 3997—83)**

Разд. 1 ГОСТ 19656.5—74 соответствует разд. 1 СТ СЭВ 3997—83.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Обязательное

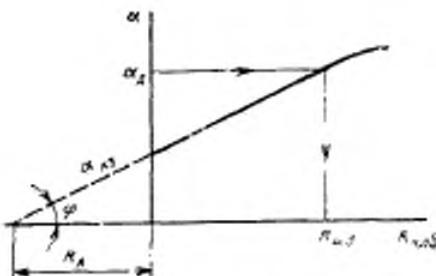
РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ШУМОВОГО ОТНОШЕНИЯ

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

1. Метод измерения $N_{\text{ш}}$ при возбуждении диода СВЧ мощностью.
- 1.1. Шумовое отношение $N_{\text{ш}}$ в относительных единицах вычисляют по формуле

$$N_{\text{ш}} = \frac{R_{\text{шд}}}{r_{\text{вых}}}, \quad (1)$$

где $r_{\text{вых}}$ — определяют по ГОСТ 19656.3—74, а $R_{\text{шд}}$ — по графику $\alpha - \psi$ ($R_{\text{шд}}$) на линейном его участке, как показано стрелкой на чертеже.



1.2. Интервал погрешности измерения $\delta N_{\text{ш}}$ с доверительной вероятностью 0,997 определяют по формуле

$$\delta N_{\text{ш}} = \pm \sqrt{(\delta R_{\text{шд}})^2 + (\delta r_{\text{вых}})^2}. \quad (2)$$

1.3. Для расчета погрешности $\delta R_{\text{шд}}$ выразим $R_{\text{шд}}$ через значение α_x и котангенс угла φ наклона линейного участка графика (чертеж) к оси абсцисс $\operatorname{ctg} \varphi = \frac{R_A}{\alpha_{x3}}$:

$$R_{\text{шд}} = (\alpha_x - \alpha_{x3}) \cdot \frac{R_A}{\alpha_{x3}}, \quad (3)$$

где R_A — эквивалентное шумовое сопротивление усилителя, приведенное к его входу, Ом;

α_{x3} — показание индикаторного прибора усилителя при коротком замыкании его входа.

1.4. Логарифмируем формулу (3) и после почлененного дифференцирования, полагая значение α_{x3} постоянным, с заменой дифференциалов приращениями получаем алгебраическую сумму частных составляющих погрешности измерения

$$\frac{\Delta R_{\text{шд}}}{R_{\text{шд}}} = \frac{1}{1 - \frac{\alpha_{x3}}{\alpha_x}} \cdot \frac{\Delta \alpha_x}{\alpha_x} + \frac{\Delta R_A}{R_A}. \quad (4)$$

1.5. Интервал погрешности измерения $\delta R_{\text{шд}}$ с доверительной вероятностью 0,997 определяют по формуле

$$\delta R_{\text{шд}} = \pm \sqrt{\frac{1}{\left(1 - \frac{\alpha_{x3}}{\alpha_x}\right)^2} \cdot \delta \alpha_x^2 + \delta R_A^2}, \quad (5)$$

где $\delta \alpha_x$ — погрешность измерения α_x во второй трети шкалы прибора класса 1,0, равная $\pm 3\%$;

δR_A — погрешность определения значения R_A , которое определяется по графику (чертеж), как показано пунктирной линией.

Выражение для погрешности δR_A можно записать следующим образом

$$\delta R_A = \pm \sqrt{\delta_{\text{кал}}^2 + \delta_{\text{неко}}^2 + \delta_{\text{кв}}^2}, \quad (6)$$

где $\delta_{\text{кал}}$ — погрешность измерения сопротивлений калибровочных резисторов, равная $\pm 1\%$;

$\delta_{\text{неко}}$ — погрешность отклонения от квадратичности характеристики выходного каскада усилителя, равная $\pm 2\%$;

$\delta_{\text{кв}}$ — погрешность показания индикаторного прибора усилителя при снятии зависимости $\alpha - \varphi (R_{\text{шд}})$, равная $\delta \alpha_x$.

Подставляя значение $\delta_{\text{кал}}$, $\delta_{\text{неко}}$, $\delta_{\text{кв}}$ в выражение (6), получаем

$$\delta R_A = \pm 3,5\%.$$

1.6. После подстановки значений $\delta_{\text{кал}}$, δR_A в формулу (5) выражение для $\delta R_{\text{шд}}$ примет вид

$$\delta R_{\text{шд}} = \pm \sqrt{\frac{1}{\left(1 - \frac{\alpha_{x3}}{\alpha_x}\right)^2} \cdot 3^2 + 3,5^2} \quad (7)$$

или

$$\delta R_{\text{шд}} \approx \pm 3,5 \sqrt{\frac{1}{\left(1 - \frac{\alpha_{x3}}{\alpha_x}\right)^2} + 1} \quad (8)$$

1.7. Погрешность $\delta r_{\text{вых}}$ в соответствии с ГОСТ 19656.3—74 должна быть в пределах $\pm 10\%$.

1.8. После подстановки выражения (8) и значения $\delta r_{\text{вых}}$ в формулу (2) получаем искомую погрешность

$$\delta N_{\text{ш}} = \pm \sqrt{12,5 \cdot \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{a_{\text{из}}}{a_{\text{д}}} \right)^2} + 1 \right] + 100\%} . \quad (9)$$

Из выражения (9) следует, что погрешность $\delta N_{\text{ш}}$ монотонно увеличивается, если измеряемые значения $a_{\text{д}}$ приближаются к $a_{\text{из}}$, что имеет место при малых значениях выходного сопротивления диода $r_{\text{вых}}$. При этом степень нарастания $\delta N_{\text{ш}}$ увеличивается при уменьшении угла φ (чертеж), т. е. при увеличении значения R_A .

В таблице приведены значения $\delta N_{\text{ш}}$, которые должны иметь место при измерении $N_{\text{ш}}=1$ и разными $r_{\text{вых}}$ на установках с усилителем, R_A которого равно 600 Ом (что определяет наклон графика), и при $a_{\text{из}}=30$ дел.

При $N_{\text{ш}}=1$ $R_{\text{шд}}=r_{\text{вых}}$, что позволяет непосредственно определить по графику зависимости $a=\Psi(R_{\text{шд}})$ значения $a_{\text{д}}$ при различных $r_{\text{вых}}$.

| $r_{\text{вых}}, \text{Ом}$ | $a_{\text{д}}, \text{дел}$ | $\delta R_{\text{шд}}$ | $\delta N_{\text{ш}}, \%$ |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|
| 150 | 37 | 18 | 20,5 |
| 200 | 40 | 14,5 | 17,6 |
| 300 | 45 | 11,2 | 15,0 |
| 400 | 50 | 9,5 | 13,8 |
| 500 | 55 | 8,65 | 13,2 |
| 600 | 60 | 7,9 | 12,9 |

Значение $\delta N_{\text{ш}}$ практически остается неизменным для значений $N_{\text{ш}}$ в интервале от 0,8 до 1,2. Из таблицы следует, что для значений $r_{\text{вых}}$ более 150 Ом погрешность измерения шумового отношения должна быть в пределах $\pm 20\%$.

2. Метод измерения $N_{\text{ш}}$ при возбуждении диода постоянным током.

2.1. Расчет показателей точности измерения проводят в соответствии с разд. I настоящего приложения, заменив обозначения:

$N_{\text{ш}}$ на $N_{\text{шд}}$, $r_{\text{вых}}$ на $r_{\text{диф}}$, $\delta r_{\text{вых}}$ на $\delta r_{\text{диф}}$.

Так как погрешность измерения дифференциального сопротивления по ГОСТ 19656.8—74 должна быть в пределах $\pm 7\%$, то погрешность измерения шумового отношения не должна выходить за пределы $\pm 20\%$.