

# 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  $N_{шт}$ .

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

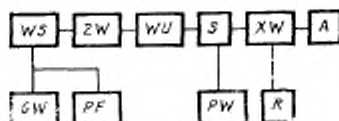


\* Переиздание (октябрь 1984 г.) с Изменением № 1, утвержденным в июне 1984 г.; Пост. № 1946 от 15.06.84 (ИУС 9—84).

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—вентиль; ZW—фильтр СВЧ или другое устройство, обеспечивающее подавление шумов генератора GW; WU—переменный attenuator; 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  $2f_{\text{пч}}$  ( $f_{\text{пч}}$ —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  $K_{\text{свч}}$  в полосе пропускания должен быть не более 1,2.

При использовании других устройств, обеспечивающих подавление шумов генератора GW на частотах измерения свыше 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  $f_{\text{пч}}$ ;

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

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

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

$$R_{вх} \geq 20r_{вых\max}$$

где  $r_{вых\max}$  — 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  $f_{пч}$  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  $r_{вых\min} \cdot N_{ш\min}$  до  $r_{вых\max} \cdot N_{ш\max}$ , где  $r_{вых\min}$  и  $r_{вых\max}$  — минимальное и максимальное значения выходных сопротивлений проверяемых диодов в партии,  $N_{ш\min}$  и  $N_{ш\max}$  — минимальное и максимальное значения их шумового отношения;

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

значение индуктивного сопротивления на промежуточной частоте должно быть не более 0,01  $R_k$ ;

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  $\alpha_{из}$ . Изменяя усиление усили-

теля, рекомендуется устанавливать по индикаторному прибору целое число делений  $\alpha_{\text{из}}$  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  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots \alpha_n$  для каждого значения  $R_{\text{изл}}$ .

1.3.3. Строят график зависимости  $\alpha = \psi(R_{\text{изл}})$ .

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  $\alpha_d$ . По графику  $\alpha = \psi(R_{\text{изл}})$  находят значение эквивалентного шумового сопротивления диода  $R_{\text{шд}}$ , соответствующее показанию  $\alpha_d$ .

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 свыше 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 свыше 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 $N_{\text{ш}}$ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ДИОДА ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

2.1. Принцип и режим измерения

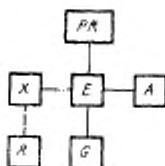
2.1.1. Принцип измерения основан на сравнении мощности шума проверяемого диода, находящегося в заданном режиме с моу-

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 диодом; 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  $r_{\text{диф min}} \cdot N_{\text{ш1 min}}$  до  $r_{\text{диф max}} \cdot N_{\text{ш1 max}}$ , где  $r_{\text{диф min}}$  и  $r_{\text{диф max}}$  — минимальное и максимальное значения дифференциальных сопротивлений проверяемых диодов в партии,  $N_{\text{ш1 min}}$  и  $N_{\text{ш1 max}}$  — минимальное и максимальное значения их шумового отношения;

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

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

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 очередного 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  $N_{ш1}$  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  $R_{ш}$ , приведенное ко входу усилителя, должно быть не более  $600 \text{ Ом}$ ;

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  $50 \text{ дБ}$  с плавной регулировкой не менее  $6 \text{ дБ}$ ;

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  $\alpha$  возводят в квадрат и используют зависимость  $\alpha^2 = \psi(R_{\text{клд}})$ .

### 2.3. Проведение измерений

2.3.1. Замыкают накоротко вход усилителя  $A$  и отмечают показание его индикаторного прибора  $\alpha_{\text{из}}$ . Рекомендуется, изменяя усиление усилителя, устанавливать по индикаторному прибору целое число делений  $\alpha_{\text{из}}$  на одной трети шкалы прибора. Значение  $\alpha_{\text{из}}$  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  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots \alpha_n$  для каждого значения  $R_{\text{клд}}$ .

2.3.4. Строят график зависимости  $\alpha - \psi(R_{\text{клд}})$ .

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  $\alpha_d$ .

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  $\alpha - \psi(R_{\text{клд}})$  находят значение эквивалентного шумового сопротивления диода  $R_{\text{шд}}$ , соответствующее показанию  $\alpha_d$ .

### 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

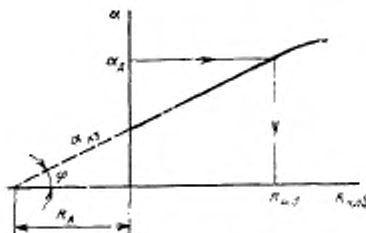
При расчете погрешности принят нормальный закон распределения составляющих погрешности и суммарной погрешности.

1. Метод измерения  $N_{ш}$  при возбуждении диода СВЧ мощностью.

1.1. Шумовое отношение  $N_{ш}$  в относительных единицах вычисляют по формуле

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

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



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

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



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

$$R_{шд} = (\alpha_1 - \alpha_{кз}) \cdot \frac{R_A}{\alpha_{кз}}, \quad (3)$$

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

$\alpha_{кз}$  — показание индикаторного прибора усилителя при коротком замыкании его входа.

1.4. Логарифмируем формулу (3) и после почленного дифференцирования, полагая значение  $\alpha_{кз}$  постоянным, с заменой дифференциалов приращиваниями получаем алгебраическую сумму частных составляющих погрешности измерения

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

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

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

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

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

Выражение для погрешности  $\delta R_A$  можно записать следующим образом

$$\delta R_A = \pm \sqrt{\delta_{кал}^2 + \delta_{некв}^2 + \delta^2 \alpha}, \quad (6)$$

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

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

$\delta \alpha$  — погрешность показаний индикаторного прибора усилителя при снятии зависимости  $\alpha - \varphi$  ( $R_{шд}$ ), равная  $\delta \alpha_d$ .

Подставляя значение  $\delta \alpha_d$ ,  $\delta_{кал}$ ,  $\delta_{некв}$  в выражение (6), получаем

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

1.6. После подстановки значений  $\delta \alpha_d$ ,  $\delta R_A$  в формулу (5) выражение для  $\delta R_{шд}\%$  примет вид

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

или

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

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

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

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

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

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

При  $N_{\text{ш}}=1$   $R_{\text{шд}}=r_{\text{вмх}}$ , что позволяет непосредственно определить по графику зависимости  $\alpha=\varphi(R_{\text{кз}})$  значения  $\alpha_{\text{д}}$  при различных  $r_{\text{вмх}}$ .

$r_{\text{вмх}}$ , Ом	$\alpha_{\text{д}}$ , 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  $r_{\text{вмх}}$  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. 1 настоящего приложения, заменив обозначения:

$N_{\text{ш}}$  на  $N_{\text{ш1}}$ ,  $r_{\text{вмх}}$  на  $r_{\text{диф}}$ ,  $\delta r_{\text{вмх}}$  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  $\pm 20\%$ .