

# **ДИОДЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ**

## **МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОТЕРЬ**

Издание официальное

БЗ 1—2001

ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ  
М о с к в а

---

**М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й     С Т А Н Д А Р Т**

---

**ДИОДЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ**  
**Методы измерения последовательного сопротивления**  
**потерь**Semiconductor diodes. Total series equivalent  
resistance measurement methods**ГОСТ**  
**18986.11—84****Взамен**  
**ГОСТ 18986.11—74**

ОКП 62 1500, 62 1600

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29.06.84 № 2247 дата введения установлена  
**01.07.85**

Ограничение срока действия снято по протоколу № 4—93 Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации (ИУС 4—94)

Настоящий стандарт распространяется на варикапы и туннельные диоды и устанавливает два метода измерения последовательного сопротивления потерь:

- метод I — для варикапов, предназначенных для работы в диапазоне от 0,25 до 1000 МГц;
- метод II — для туннельных диодов.

Общие требования при измерении и требования безопасности — по ГОСТ 18986.0—74.

Стандарт соответствует СТ СЭВ 3199—81 в части измерения сопротивления потерь варикапов (приложение 1) и Публикации МЭК 147—2F в части принципа измерения последовательного сопротивления потерь туннельных диодов.

**1. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ**  
**ПОТЕРЬ ВАРИКАПОВ****1.1. Принцип, условия и режим измерения**

1.1.1. Измерение последовательного сопротивления потерь варикапов проводят резонансным методом.

1.1.2. Температура среды, обратное напряжение, емкость варикапа, частота при измерении должны соответствовать установленным в стандартах или технических условиях (ТУ) на варикапы конкретных типов.

**1.2. Аппаратура**

1.2.1. Измерения следует проводить на установке, структурная схема которой приведена на черт. 1.

1.2.2. Генератор постоянного напряжения  $G1$  должен обеспечивать установление и поддержание обратного напряжения на варикапе с погрешностью в пределах  $\pm 3\%$ .

Нестабильность напряжения (включая пульсацию) не должна превышать 10 мВ.

1.2.3. Генератор тока высокой частоты  $G2$  должен обеспечивать установление и поддержание амплитуды переменного напряжения на варикапе  $U_m$ , В, не превышающей значения, рассчитанного по формуле

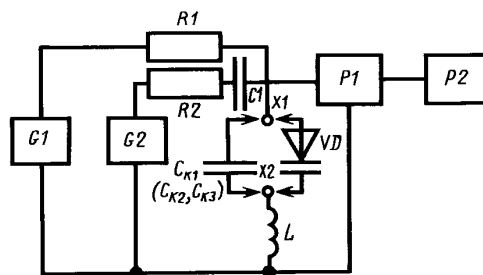
$$U_m \leq 0,07 + 0,2 (0,7 + U_{обр}),$$

где  $U_{обр}$  — постоянное обратное напряжение на варикапе, В.

---

**Издание официальное****Перепечатка воспрещена***Переиздание. Август 2002 г.*

© Издательство стандартов, 1984  
© ИПК Издательство стандартов, 2002



*G1* — генератор постоянного напряжения; *G2* — генератор тока высокой частоты; *R1* и *R2* — ограничительные резисторы; *C1* — разделительный конденсатор; *C<sub>к1</sub>*, *C<sub>к2</sub>*, *C<sub>к3</sub>* — калибровочные конденсаторы; *VD* — варикап; *X1* и *X2* — контакты подключения варикапа или калибровочных конденсаторов; *L* — катушка индуктивности; *P1* — селективный вольтметр; *P2* — измерительный прибор

Черт. 1

Нестабильность амплитуды тока высокой частоты должна быть в пределах  $\pm 1\%$  за время между калибровками, которое должно быть указано в технической документации на конкретный тип измерителя последовательного сопротивления потерь варикапов.

Частоту генератора  $f$ , Гц, следует выбирать из условия

$$f \leq \frac{1}{80 \pi C_{\text{в}} r_{\text{п}}},$$

где  $C_{\text{в}}$  — емкость варикапа, указанная в стандартах или ТУ на варикапы конкретных типов, Ф;  
 $r_{\text{п}}$  — последовательное сопротивление потерь варикапа, установленное в стандартах или ТУ на варикапы конкретных типов, Ом.

Нестабильность частоты за время измерения должна быть  $5 \cdot 10^{-6} f$ , Гц.

Амплитуда гармоник выходного напряжения должна быть в пределах  $\pm 3\%$  амплитуды основной частоты.

1.2.4. Сопротивление резистора *R1*, Ом, следует выбирать из условия

$$R_1 \geq 200 r_{\text{п}}.$$

1.2.5. Сопротивление резистора *R2*, Ом, и емкость конденсатора *C1*, Ф, следует выбирать из условия

$$\sqrt{(R_2)^2 + \frac{1}{(2 \pi f C_1)^2}} \geq 50 r_{\text{п}}.$$

1.2.6. Добротность катушки индуктивности резонансного контура должна быть не менее 400. Сопротивление потерь катушки индуктивности  $r_L$ , Ом, должно удовлетворять условию:

$$r_L \leq 0,2 r_{\text{п}}.$$

Допускается катушку индуктивности заменять отрезком длинной линии, настроенной с емкостью варикапа в резонанс на частоте измерения.

1.2.7. Калибровочные конденсаторы  $C_{\text{к1}}$ ,  $C_{\text{к2}}$  и  $C_{\text{к3}}$  должны иметь емкость, которая отличается от емкости варикапа не более чем на  $\pm 20\%$ .

Погрешность сопротивления потерь  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  калибровочных конденсаторов  $C_{\text{к1}}$ ,  $C_{\text{к2}}$ ,  $C_{\text{к3}}$  должна быть в пределах  $\pm 1\%$ , сопротивления потерь  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  следует выбирать из условия:

$$r_1 = r_L \pm 20\%; \quad r_2 = 2 r_L \pm 20\%; \quad r_3 = r_{\text{п}} \pm 20\%.$$

1.2.8. Селективный вольтметр *P1* должен удовлетворять следующим требованиям:

- отклонение от линейности амплитудной характеристики должно быть в пределах  $\pm 3\%$ ;

- полное входное сопротивление должно не менее чем в 50 раз превышать последовательное сопротивление потерь варикапа.

Селективный вольтметр  $P1$  должен обеспечивать подавление второй и последующих гармоник частоты генератора не менее чем на 70 дБ.

1.2.9. Погрешность измерительного прибора  $P2$  должна быть в пределах  $\pm 2$  %.

### 1.3. Подготовка и проведение измерений

#### 1.3.1. Калибровка установки

1.3.1.1. Подключают конденсатор  $C_{к1}$  к контактам  $X1$  и  $X2$ .

1.3.1.2. Подают сигнал от генератора  $G2$  и изменением частоты генератора настраивают контур в резонанс по минимальному показанию  $\alpha_1$  измерительного прибора  $P2$ .

1.3.1.3. Заменяют конденсатор  $C_{к1}$  конденсатором  $C_{к2}$ , изменением частоты генератора настраивают контур в резонанс и отсчитывают показание  $\alpha_2$ .

1.3.1.4. Сопротивление потерь катушки индуктивности  $r_L$ , Ом, вычисляют по формуле

$$r_L = \frac{\alpha_1 r_2 - \alpha_2 r_1}{\alpha_2 - \alpha_1}.$$

1.3.1.5. По сумме  $r_1 + r_3$ , изменяя коэффициент усиления вольтметра  $P1$ , калибруют шкалу прибора  $P2$  в единицах измерения сопротивления.

1.3.2. Подключают варикап к контактам  $X1$  и  $X2$ . От генератора  $G1$  подают постоянное напряжение, от генератора  $G2$  — переменный сигнал требуемой частоты. Изменяя напряжение от генератора  $G1$ , добиваются минимального показания прибора  $P2$ , соответствующего сопротивлению  $r_x$ .

1.3.3. Последовательное сопротивление потерь варикапа  $r_n$ , Ом, вычисляют по формуле

$$r_n = r_x - r_L,$$

где  $r_L$  — сопротивление потерь катушки индуктивности.

1.3.4. Допускается компенсировать сопротивление потерь катушки индуктивности введением дополнительной схемы. При этом погрешность измерения не должна выходить за установленный предел.

### 1.4. Показатели точности измерений

1.4.1. Погрешность измерения последовательного сопротивления потерь варикапов должна быть в пределах  $\pm 10$  % с доверительной вероятностью  $P = 0,997$  для варикапов с добротностью менее 300 и в пределах  $\pm 15$  % с доверительной вероятностью  $P = 0,997$  для варикапов с добротностью, равной 300 и более.

1.4.2. Расчет погрешности измерения приведен в приложении 2.

## 2. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ТУННЕЛЬНЫХ ДИОДОВ

### 2.1. Принцип, условия и режим измерения

2.1.1. За последовательное сопротивление потерь туннельных диодов принимают дифференциальное сопротивление, измеренное на обратной ветви вольт-амперной характеристики при смещении током в область, в которой напряжение от тока изменяется незначительно.

2.1.2. Температура среды, амплитуда импульсов обратного тока смещения, частота повторения импульсов при измерении должны соответствовать установленным в стандартах или ТУ на туннельные диоды конкретных типов.

### 2.2. Аппаратура

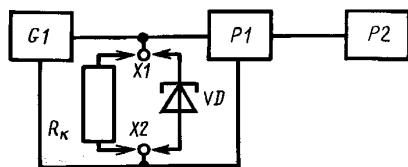
2.2.1. Измерения следует проводить на установке, структурная схема которой приведена на черт. 2.

2.2.2. Генератор модулированных импульсов тока  $G1$  должен удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать установление и поддержание амплитуды обратного тока смещения с погрешностью в пределах  $\pm 8$  %, амплитуду импульсов тока  $I_n$ , мА, следует выбирать из условия

$$I_n = (5 \dots 40) I_n + 15,$$

где  $I_n$  — пиковый ток, заданный в стандартах или ТУ на туннельные диоды конкретных типов;



*G1* — генератор модулированных импульсов тока; *R<sub>к</sub>* — резистор калибровки; *VD* — туннельный диод; *X1* и *X2* — контакты подключения туннельного диода или резистора калибровки; *P1* — устройство выделения огибающей; *P2* — измерительный прибор

Черт. 2

конкретное значение коэффициента при  $I_n$  выбирают таким, чтобы дифференциальное сопротивление диода мало изменялось при изменении амплитуды импульса тока смещения, мА;

- длительность импульсов тока на уровне 0,5 не должна превышать 100 нс;

- частота повторения импульсов должна быть такой, чтобы средний ток через диод не превышал значения  $(0,33 I_n + 1)$  мА;

- обеспечивать модуляцию амплитуды импульсов тока по синусоидальному закону;

- частота модуляции должна быть не менее чем в 10 раз ниже частоты повторения импульсов тока, коэффициент модуляции должен быть не более 0,1.

2.2.3. Устройство *P1* должно обеспечивать детектирование и усиление огибающей модулированного сигнала,

амплитуда и частота которого соответствуют требованиям п. 2.2.2. Нелинейность амплитудной характеристики устройства должна быть в пределах  $\pm 3$  %.

2.2.4. Погрешность измерительного прибора *P2* должна быть в пределах  $\pm 2$  %.

2.2.5. Сопротивление резистора калибровки  $R_k$ , Ом, должно иметь значение, близкое к измеряемому последовательному сопротивлению потерь с погрешностью в пределах  $\pm 1$  %.

### 2.3. Подготовка и проведение измерений

#### 2.3.1. Калибровка установки

2.3.1.1. Подключают резистор калибровки  $R_k$  к контактам *X1* и *X2*. От генератора *G1* подают модулированные импульсы тока.

2.3.1.2. По сопротивлению  $R_k$ , регулируя коэффициент усиления устройства *P1*, калибруют шкалу прибора *P2* в единицах сопротивления.

2.3.2. Подключают туннельный диод к контактам *X1* и *X2*, подают от генератора *G1* модулированные импульсы тока.

2.3.3. По измерительному прибору *P2* отсчитывают последовательное сопротивление потерь туннельного диода.

### 2.4. Показатели точности измерений

2.4.1. Погрешность измерения последовательного сопротивления потерь туннельных диодов должна быть в интервале  $\pm \left( \frac{0,025}{r_n} + 0,1 \right) \cdot 100$  %, с доверительной вероятностью  $P = 0,997$  (где  $r_n$  — последовательное сопротивление потерь туннельного диода, установленное в стандартах или ТУ на туннельные диоды конкретных типов, Ом).

2.4.2. Расчет погрешности измерения приведен в приложении 2.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1  
Справочное

## РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

## 1. Расчет погрешности измерения последовательного сопротивления потерь варикапов

1.1. Интервал, в котором с доверительной вероятностью находится погрешность измерений, определяют по формуле

$$\delta r_{\Pi} = \pm K_{\Sigma} \sqrt{\left(\frac{\delta r_x}{K \delta r_x}\right)^2 \left(\frac{r_x}{r_x - r_L}\right)^2 + \left(\frac{\delta r_L}{K \delta r_L}\right)^2 \left(\frac{r_L}{r_x - r_L}\right)^2},$$

где  $\delta r_x$  — составляющая погрешности определения суммарного сопротивления потерь катушки индуктивности и варикапов;

$\delta r_L$  — составляющая погрешности определения сопротивления потерь катушки индуктивности.

1.2. Составляющую погрешности определения суммарного сопротивления потерь варикапов и сопротивления потерь катушки индуктивности рассчитывают по формуле

$$\delta r_x = \pm K_{\delta r_x} \sqrt{\left(\frac{\delta U}{K \delta U}\right)^2 + \left(\frac{\delta A}{K \delta A}\right)^2 + \left(\frac{\delta P}{K \delta P}\right)^2 + \left(\frac{\delta f}{K \delta f}\right)^2 + \left(\frac{\delta \alpha_{\text{опер}}}{K \delta \alpha}\right)^2},$$

где  $\delta U$  — составляющая погрешности за счет неточности установления и поддержания обратного напряжения;

$\delta A$  — составляющая погрешности за счет нестабильности амплитуды переменного напряжения;

$\delta P$  — составляющая погрешности за счет неточности показаний измерительного прибора;

$\delta f$  — составляющая погрешности за счет нестабильности частоты генератора;

$\delta \alpha_{\text{опер}}$  — составляющая погрешности за счет неточности отсчета момента резонанса оператором.

1.3. Составляющую погрешности определения сопротивления потерь катушки индуктивности рассчитывают по формуле

$$\delta r_L = \pm K_{\delta r_L} \sqrt{\left(\frac{\delta \alpha_1}{K \delta \alpha_1}\right)^2 \left(\frac{1}{1 - \frac{\alpha_2 r_1}{\alpha_1 r_2}} + \frac{1}{\frac{\alpha_2}{\alpha_1} - 1}\right)^2 + \left(\frac{\delta \alpha_2}{K \delta \alpha_2}\right)^2 \left(\frac{1}{\frac{\alpha_1 r_2}{\alpha_2 r_1} - 1} + \frac{1}{1 - \frac{\alpha_1}{\alpha_2}}\right)^2},$$

где  $\delta \alpha_1 = \delta \alpha_2$  — составляющие погрешности отсчета по шкале измерительного прибора при подключении  $C_{K1}$  и  $C_{K2}$  соответственно;

$r_1$  и  $r_2$  — сопротивления потерь калибровочных конденсаторов  $C_{K1}$  и  $C_{K2}$  соответственно.

1.4. Составляющие погрешности  $\delta \alpha_{1,2}$  рассчитывают по формуле

$$\delta \alpha_1 = \delta \alpha_2 = \pm K_{\delta \alpha_{1,2}} \sqrt{\left(\frac{\delta A}{K \delta A}\right)^2 + \left(\frac{\delta B}{K \delta B}\right)^2 + \left(\frac{\delta P}{K \delta P}\right)^2 + \left(\frac{\delta r_{1,2}}{K \delta r_{1,2}}\right)^2},$$

где  $\delta A$  — составляющая погрешности за счет нестабильности амплитуды переменного напряжения;

$\delta B$  — составляющая погрешности за счет нелинейности детектирования и усиления сигнала;

$\delta P$  — составляющая погрешности за счет неточности показаний измерительного прибора;

$\delta r_{1,2}$  — составляющая погрешности определения сопротивления потерь конденсаторов  $C_{K1}$  и  $C_{K2}$ .

1.5. Так как каждая из составляющих погрешности  $\delta r_x$ ,  $\delta r_L$ ,  $\delta \alpha_1$ ,  $\delta \alpha_2$ , определяющих суммарную погрешность измерения  $\delta r_{\Pi}$ , зависит от большого числа влияющих факторов и складывается из большого числа частных составляющих, принимаем их распределение и распределение суммарной погрешности нормальным. Соответственно при доверительной вероятности  $P = 0,997$   $K_{\Sigma}$ ,  $K_{\delta r_x}$ ,  $K_{\delta r_L}$ ,  $K_{\delta \alpha_{1,2}}$  равны 3.

Подставляя в формулы значения  $\alpha_1 = 0,66$ ;  $\alpha_2 = 1$ ;  $r_1 = 0,1$ ;  $r_2 = 0,2$ ;  $r_L = 0,1$ ;  $r_x = 1,1$ ;  $\delta U = 2$  %;  $\delta A = 1$  %;  $\delta B = 3$  %;  $\delta P = 3$  %;  $\delta \alpha_{\text{опер}} = 1$  %;  $\delta r_1 = \delta r_2 = 3$  %;  $\delta f = 0,0001$  % (которым можно пренебречь), получаем:

$$\delta \alpha_1 = \delta \alpha_2 = \pm 3 \sqrt{\left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{3}{3}\right)^2 + \left(\frac{3}{1,73}\right)^2 + \left(\frac{3}{3}\right)^2} = \pm 6,8 \text{ %};$$

$$\delta r_L = \pm 3 \sqrt{\left(\frac{6,8}{3}\right)^2 \left(\frac{1}{1 - \frac{1 \cdot 0,1}{0,66 \cdot 0,2} + \frac{1}{0,66} - 1}\right)^2 + \left(\frac{6,8}{3}\right)^2 \left(\frac{1}{\frac{0,66 \cdot 0,2}{0,1} - 1} + \frac{1}{1 - \frac{0,66}{1}}\right)^2} = \pm 58,6 \%;$$

$$\delta r_x = \pm 3 \sqrt{\left(\frac{2}{3}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{3}{1,73}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2} = \pm 5,7 \%.$$

Таким образом, погрешность измерения  $\delta r_n$  с доверительной вероятностью  $P = 0,997$  должна быть в интервале

$$\delta r_n = \pm 3 \sqrt{\left(\frac{5,7}{3}\right)^2 \left(\frac{1,1}{1,1 - 0,1}\right)^2 + \left(\frac{58,6}{3}\right)^2 \left(\frac{0,1}{1,1 - 0,1}\right)^2} = \pm 9 \%.$$

## 2. Расчет погрешности измерения последовательного сопротивления потерь туннельных диодов

2.1. Последовательное сопротивление потерь туннельных диодов  $r_n$ , Ом, определяют по формуле

$$r_n = R_k \frac{\alpha_n}{\alpha_k},$$

где  $\alpha_k$  — отсчет по шкале измерительного прибора при подключении резистора калибровки  $R_k$ ;

$\alpha_n$  — отсчет по шкале измерительного прибора при подключении туннельного диода.

2.2. Интервал, в котором с доверительной вероятностью находится погрешность измерения, определяют по формуле

$$\begin{aligned} \delta r_n &= \pm \left( \frac{r_{\text{конт}}}{r_n} + K_\Sigma \sqrt{\left( \frac{\delta r_k}{K \delta r_k} \right)^2 + \left( \frac{\delta \alpha_n}{K \delta \alpha_n} \right)^2 + \left( \frac{\delta \alpha_k}{K \delta \alpha_k} \right)^2} \right) \cdot 100 \% = \\ &= \pm \left( \frac{r_{\text{конт}}}{r_n} + K_\Sigma \sqrt{\left( \frac{\delta r_k}{K \delta r_k} \right)^2 + 2 \left( \frac{\delta A}{K \delta A} \right)^2 + \left( \frac{\delta U_{\text{т.д.}}}{K \delta U_{\text{т.д.}}} \right)^2 + \left( \frac{\delta B}{K \delta B} \right)^2 + 2 \left( \frac{\delta P}{K \delta P} \right)^2} \right) \cdot 100 \%, \end{aligned}$$

где  $\delta r_k$  — погрешность определения сопротивления резистора калибровки;

$\delta A$  — составляющая погрешности за счет нестабильности амплитуды импульсов тока;

$\delta U_{\text{т.д.}}$  — составляющая погрешности за счет разброса и изменения вольтамперной характеристики туннельных диодов;

$\delta B$  — составляющая погрешности за счет нелинейности детектирования и усиления амплитуды импульсов тока;

$\delta P$  — составляющая погрешности за счет неточности показаний измерительного прибора.

Так как суммарная погрешность измерения складывается из большого числа составляющих и доминирующая частная составляющая погрешности  $\delta U_{\text{т.д.}}$  распределена по нормальному закону, то закон распределения погрешности измерения можно принять распределенным по нормальному закону. Тогда при доверительной вероятности  $P = 0,997$   $K_\Sigma = 3$ .

Подставляя в формулу значения  $\delta r_k = 1 \%$ ,  $\delta A = 1 \%$ ,  $\delta U_{\text{т.д.}} = 5 \%$ ,  $\delta B = \delta P = 3 \%$ ,  $r_{\text{конт}} = 0,025$  Ом, получаем, что погрешность измерения с доверительной вероятностью  $P = 0,997$  должна быть в интервале

$$\begin{aligned} \delta r_n &= \pm \left( \frac{0,025}{r_n} + 3 \sqrt{\left(\frac{1}{3}\right)^2 + 2 \left(\frac{1}{3}\right)^2 + \left(\frac{5}{3}\right)^2 + \left(\frac{3}{3}\right)^2 + 2 \left(\frac{3}{1,73}\right)^2} \right) \cdot 100 \% = \\ &= \pm \left( \frac{0,025}{r_n} + 0,095 \right) \cdot 100 \%. \end{aligned}$$

Редактор *В.Н. Копысов*  
Технический редактор *В.Н. Прусакова*  
Корректор *М.С. Кабакова*  
Компьютерная верстка *Е.Н. Мартемьяновой*

Изд. лиц. № 02354 от 14.07.2000. Сдано в набор 09.09.2002. Подписано в печать 11.10.2002. Усл. печ. л. 0,93.  
Уч.-изд. л. 0,70. Тираж 72 экз. С 7751. Зак. 295.

---

ИПК Издательство стандартов, 107076 Москва, Колодезный пер., 14.  
<http://www.standards.ru> e-mail: [info@standards.ru](mailto:info@standards.ru)  
Набрано и отпечатано в ИПК Издательство стандартов