



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ  
СОЮЗА ССР

---

ДИОДЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ  
СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ  
ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫЕ И  
ОГРАНИЧИТЕЛЬНЫЕ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПОТЕРЬ

ГОСТ 19656.10—88

Издание официальное



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ССР ПО СТАНДАРТАМ  
Москва

ДИОДЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ  
СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫЕ  
И ОГРАНИЧИТЕЛЬНЫЕ

Методы измерения сопротивлений потерь

Semiconductor microwave switching  
and limiter diodes.

Methods of measuring loss resistances

ГОСТ

19656.10—88

ОКП 621000

Срок действия с 01.07.89

до 01.07.94

Настоящий стандарт распространяется на полупроводниковые переключательные и ограничительные сверхвысокочастотные (далее — СВЧ) диоды и устанавливает следующие методы измерения сопротивлений потерь в диапазоне частот 0,3 — 10 ГГц:

1) сопротивления потерь при низком уровне СВЧ мощности ( $r_{\text{низ}}$ ) ограничительных СВЧ диодов;

2) прямого сопротивления потерь ( $r_{\text{пр}}$ ) переключательных и ограничительных СВЧ диодов и обратного сопротивления потерь ( $r_{\text{обр}}$ ,  $R_{\text{обр}}$ )\* переключательных СВЧ диодов:

- метод измерительной линии с подвижным зондом;
- метод измерительной линии с фиксированным зондом;
- резонаторный метод.

Общие требования при измерениях — по ГОСТ 19656.0—74.

1. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ  $r_{\text{низ}}$

1.1. Принцип, условия и режим измерения

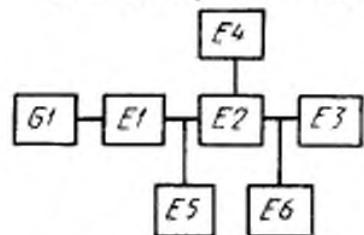
1.1.1. Сопротивление потерь  $r_{\text{низ}}$  определяют, исходя из измерения входного сопротивления коаксиальной диодной камеры с диодом, включенным в качестве оконечной нагрузки и учета потерь в камере, определяемых с помощью эквивалентов холостого хода (далее — ХХ).

\* Обратное сопротивление потерь приводится для последовательной ( $r_{\text{обр}}$ ) и параллельной ( $R_{\text{обр}}$ ) эквивалентной схемы диода.

1.1.2. Значения частоты измерения, уровня СВЧ мощности, при которых проводят измерения, следует приводить в ТУ на диоды конкретных типов.

## 1.2. Аппаратура

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



*G1*—генератор СВЧ мощности;  
*E1*—вентиль ферритовый;  
*E2*—линия измерительная;  
*E3*—камера диодная; *E4*—уси-  
 литель измерительный; *E5*—  
 частотометр; *E6*—измеритель  
 мощности

Черт. 1

и обеспечивать значение коэффициента стоячей волны по напряжению холостого хода с эквивалентом  $XX$  ( $K_{ст} u_{XX}$ ) не менее 50.

Эквивалент  $XX$  должен представлять собой корпус диода (без контактирующих проволочек) или деталь, по форме и размерам соответствующую проверяемому диоду со значением емкости, равной минимальному значению емкости конкретного типа диода.

Чертежи на эквиваленты и значения емкостей эквивалентов указывают в ТУ на диоды конкретных типов.

## 1.3. Подготовка к проведению измерений

1.3.1. Режим измерения устанавливают заданным по частоте и мощности.

1.3.2. Эквивалент  $XX$  вставляют в диодную камеру.

1.3.3. Определяют положение минимума стоячей волны напряжения ( $I_1$ ) в миллиметрах, ближайшего к выходному концу измерительной линии.

1.3.4. Определяют значение ( $\Delta I_1$ ) в миллиметрах — разность показаний индикатора измерительной линии в точках (справа и слева от точки минимума  $I_1$ ), где напряженность электрического поля в измерительной линии вдвое больше его значения в точке минимума.

1.3.5. Определяют значение коэффициента стоячей волны по напряжению (далее — КСВН) холостого хода ( $K_{ст} u_{XX}$ ) по формуле

1.2.2. Элементы, входящие в структурную схему, должны соответствовать следующим требованиям:

1) вентиль ферритовый  $E1$ , генератор СВЧ мощности  $G1$ , линия измерительная  $E2$ , частотометр  $E5$ , измеритель мощности  $E6$  — по ГОСТ 19656.0—74;

2) измерительный усилитель  $E4$  должен иметь чувствительность в пределах 1—10 мкВ;

3) диодная камера  $E3$  должна иметь волновое сопротивление, равное волновому сопротивлению измерительной линии.

$$K_{\text{ст} U_{\text{XX}}} = \frac{\lambda}{\pi \Delta l_1}, \quad (1)$$

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

1.3.6. Положение плоскости отсчета  $l_{n_0}$  в миллиметрах рассчитывают по формуле

$$l_{n_0} = l_1 + \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{2\pi f C_{\text{кор}} Z_0}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{кор}}$  — емкость корпуса диода, определяемая по ГОСТ 18986.4—73,  $\Phi$ ;

$Z_0$  — волновое сопротивление измерительной линии, Ом;

$f$  — частота измерения, Гц.

#### 1.4. Проведение измерений

1.4.1. Измеряемый диод вставляют в диодную камеру.

1.4.2. Определяют положение минимума стоячей волны напряжения в измерительной линии ( $l_2$ ) в миллиметрах, ближайшего к плоскости отсчета ( $l_{n_0}$ ).

1.4.3. Определяют значение  $\Delta l_2$  в миллиметрах — разность показаний индикатора измерительной линии в точках (справа и слева от точки минимума  $l_2$ ), где напряженность электрического поля в линии вдвое больше его значения в точке минимума.

#### 1.5. Обработка результатов

1.5.1. Значение сопротивления потерь при низком уровне СВЧ мощности ( $r_{\text{низ}}$ ) рассчитывают по формуле

$$r_{\text{низ}} = \frac{\pi Z_0}{\lambda} \left( \frac{1}{\operatorname{cig} \beta_2 - \operatorname{cig} \beta_1} \right)^2 \left( \frac{\Delta l_2}{\sin^2 \beta_2} - \frac{\Delta l_1}{\sin^2 \beta_1} \right), \quad (3)$$

где  $\Delta l_1$  — значение, определяемое в соответствии с п. 1.3.4, мм;

$\Delta l_2$  — значение, определяемое в соответствии с п. 1.4.3, мм;

$$\beta_1 = \frac{2\pi}{\lambda} (l_{n_0} - l_1), \quad (4)$$

где  $l_1$  — значение, определяемое в соответствии с п. 1.3.3, мм;

$l_{n_0}$  — значение, определяемое в соответствии с п. 1.3.6, мм;

$$\beta_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (l_{n_0} - l_2), \quad (5)$$

где  $l_2$  — значение, определяемое в соответствии с п. 1.4.2, мм.

#### 1.6. Показатели точности измерений

1.6.1. Погрешность измерения сопротивления потерь при низком уровне СВЧ мощности  $r_{\text{низ}}$  должна находиться в интервале  $\pm 20\%$  с установленной вероятностью 0,95 в диапазоне частот 0,3—10 ГГц для значений  $r_{\text{низ}}$  — в пределах 2—30 Ом.

1.6.2. Погрешность измерения значений  $r_{\text{низ}}$ , не установленных настоящим стандартом, должна быть приведена в ТУ на диоды конкретных типов.

Пример расчета погрешности измерения сопротивления потерь при низком уровне СВЧ мощности приведен в приложении 1.

## 2. МЕТОД ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ С ПОДВИЖНЫМ ЗОНДОМ ( $r_{обр}$ , $R_{обр}$ )

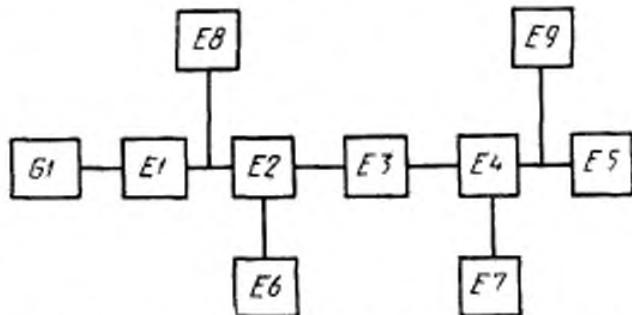
### 2.1. Принцип, условия и режим измерения

2.1.1. Прямое ( $r_{обр}$ ) и обратное ( $r_{обр}$ ,  $R_{обр}$ ) сопротивления потерь определяют исходя из измерений входного сопротивления диодной камеры с диодом, включенным в качестве оконечной нагрузки, с учетом потерь в камере, определяемых с помощью эквивалентов короткого замыкания (КЗ) и ХХ.

2.1.2. Значения частоты измерения, уровня СВЧ мощности и напряжения смещения, при которых проводят измерения, следует приводить в ТУ на диоды конкретных типов.

### 2.2. Аппаратура

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



*G1*—генератор СВЧ мощности; *E1*, *E3*—вентили; *E2*—тройник ввода смещения; *E4*—линия измерительная; *E5*—камера диодов; *E6*—источник смещения; *E7*—измерительный усилитель; *E8*—частотометр; *E9*—измеритель мощности

Черт. 2

2.2.2. Генератор СВЧ мощности *G1*, вентили *E1*, *E3*, линия измерительная *E4*, частотометр *E8*, измеритель мощности *E9* — по ГОСТ 19656.0—74.

2.2.3. Тройник ввода смещения *E2* должен обеспечивать подачу напряжения (или тока) смещения на проверяемый диод и удовлетворять следующим требованиям:

- 1) коэффициент стоячей волны по напряжению входа и выхода — не более 1,3;
- 2) развязка цепи постоянного тока и тракта СВЧ — не менее 20 дБ;

- 3) сопротивление цепи постоянного тока — не более 0,1 Ом;  
 4) собственное ослабление — не более 1 дБ.

2.2.4. Источник смещения  $E_6$  должен обеспечивать задание и поддержание постоянного тока прямого смещения и постоянного напряжения обратного смещения с погрешностью в пределах  $\pm 5\%$ .

2.2.5. Измерительный усилитель  $E_7$  должен иметь чувствительность в пределах 1—10 мкВ.

2.2.6. Диодная камера  $E_5$  должна иметь волновое сопротивление, равное волновому сопротивлению измерительной линии и обеспечивать значения коэффициентов стоячей волны по напряжению с эквивалентом КЗ ( $K_{ct} U_{K3}$ ) и ХХ ( $K_{ct} U_{XX}$ ) в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Диапазон частот, ГГц	Сечение кважищального тракта, мм	$K_{ct} U_{K3}$ , не менее	$K_{ct} U_{XX}$ , не менее
0,3—1,0	16/7, 7/3,04	100	100
1,0—2,5	16/7, 7/3,04	70	70
2,5—10,0	10/4,34	70	70
2,5—10,0	7/3,04	50	50

Эквивалент КЗ должен представлять собой металлическую деталь, соответствующую по форме и размерам измеряемому диоду.

### 2.3. Подготовка к проведению измерений

2.3.1. Режим измерения устанавливают заданным по частоте и мощности.

2.3.2. Эквивалент КЗ вставляют в диодную камеру.

2.3.3. Определяют положение минимума стоячей волны напряжений (плоскость отсчета) в миллиметрах, ближайшего к выходному концу измерительной линии  $l_1$ .

2.3.4. Определяют значение  $\Delta l_1$  — разность показаний индикатора измерительной линии в точках (справа и слева от точки минимума  $l_1$ ) в миллиметрах, где напряженность электрического поля в линии вдвое больше его значения в точке минимума.

2.3.5. Рассчитывают значение  $K_{ct} U_{K3}$  по формуле

$$K_{ct} U_{K3} = \frac{\lambda}{\pi \Delta l_1}, \quad (6)$$

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

2.3.6. Эквивалент ХХ вставляют в диодную камеру.

2.3.7. Определяют положение минимума стоячей волны напряжения  $l_2$  в миллиметрах, ближайшего к плоскости отсчета.

2.3.8. Определяют значение  $\Delta l_2$  — разность показаний индикатора измерительной линии в точках (справа и слева от точки минимума  $l_2$ ) в миллиметрах, где напряженность электрического поля в линии вдвое больше его значения в точке минимума.

2.3.9. Определяют значение  $K_{ct} u_{xx}$  по формуле

$$K_{ct} u_{xx} = \frac{\lambda}{\pi \Delta l_2}. \quad (7)$$

#### 2.4. Проведение измерений

##### 2.4.1. Измерение прямого сопротивления потерь

2.4.1.1. Проверяемый диод вставляют в диодную камеру и устанавливают заданное значение прямого тока смещения.

2.4.1.2. Определяют положение минимума стоячей волны напряжения в измерительной линии  $l_3$  в миллиметрах, ближайшего к плоскости отсчета.

2.4.1.3. Определяют значение  $\Delta l_3$  — разность показаний индикатора измерительной линии в точках (справа и слева от точки минимума  $l_3$ ) в миллиметрах, где напряженность электрического поля в линии вдвое больше его значения в точке минимума.

##### 2.4.2. Измерение обратного сопротивления потерь

2.4.2.1. На проверяемом диоде устанавливают заданное значение обратного напряжения.

2.4.2.2. Определяют положение минимума стоячей волны напряжения в измерительной линии  $l_4$  в миллиметрах, ближайшего к плоскости отсчета.

2.4.2.3. Определяют значение  $\Delta l_4$  — разность показаний индикатора измерительной линии (справа и слева от точки минимума  $l_4$ ) в миллиметрах, где напряженность электрического поля в линии вдвое больше его значения в точке минимума.

#### 2.5. Обработка результатов

2.5.1. Значение прямого сопротивления потерь ( $r_{np}$ ) в омах рассчитывают по формуле

$$r_{np} = \frac{Z_0 \pi}{\lambda} \left( \frac{\Delta l_3}{\cos^2 \beta_1 \left( 1 - \frac{\operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg} \beta_2} \right)^2} - \Delta l_1 \right), \quad (8)$$

где  $Z_0$  — волновое сопротивление линии, Ом;

$\Delta l_3$  — значение, определяемое по п. 2.4.1.3, мм;

$\Delta l_1$  — значение, определяемое по п. 2.3.4, мм;

$\lambda$  — длина волны в измерительной линии, мм.

$$\beta_1 = \frac{2\pi}{\lambda} (l_3 - l_1), \quad (9)$$

где  $l_3$  — значение, определяемое по п. 2.4.1.2, мм;

$l_1$  — значение, определяемое по п. 2.3.3, мм;

$$\beta_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (l_1 - l_2), \quad (10)$$

где  $l_2$  — значение, определяемое по п. 2.3.7, мм.

При выполнении условия

$$\cos^2 \beta_1 \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg} \beta_2} \right)^2 \leq 1,05 \quad (11)$$

значение  $r_{\text{пп}}$  рассчитывают по формуле

$$r_{\text{пп}} = \frac{Z_0 \pi}{\lambda} (\Delta l_3 - \Delta l_1). \quad (12)$$

2.5.2. Значение обратного сопротивления потерь ( $r_{\text{обр}}$ ) рассчитывают по формуле

$$r_{\text{обр}} = \frac{\pi}{Z_0 \lambda} \left( \frac{1}{\omega C_{\text{стп}}} - \omega L \right)^2 \left( \frac{\Delta l_4}{\sin^2 \beta_4} - \frac{\Delta l_2}{\sin^2 \beta_2} \right), \quad (13)$$

где  $\omega$  — круговая частота, рассчитываемая по формуле

$$\omega = 2\pi f,$$

где  $f$  — частота измерения, Гц;

$L$  — индуктивность диода, нГн, рассчитываемая по формуле

$$L = \frac{Z_0}{\omega} \operatorname{tg} \beta_1;$$

$\Delta l_4$  — значение, определяемое по п. 2.4.2.3, мм;

$\Delta l_2$  — значение, определяемое по п. 2.3.8, мм;

$C_{\text{стп}}$  — емкость структуры,  $\Phi$ , рассчитываемая по формуле

$$C_{\text{стп}} = C_x - C_{\text{кор}},$$

где  $C_x$  — общая емкость диода,  $\Phi$ , определяемая по ГОСТ 18986.4—73;

$C_{\text{кор}}$  — емкость корпуса диода,  $\Phi$ , определяемая по ГОСТ 18986.4—73;

$$\beta_4 = \frac{2\pi}{\lambda} (l_1 - l_4), \quad (14)$$

где  $l_4$  — значение, определяемое по п. 2.4.2.2, мм;

$$\beta_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (l_1 - l_2). \quad (15)$$

При выполнении условия

$$\frac{1}{\omega C_{\text{стп}}} \geq 3\omega L \quad (16)$$

значение  $r_{\text{обр}}$  рассчитывают по формуле

$$r_{\text{обр}} = \frac{Z_0 \pi}{\lambda} \frac{1}{(\operatorname{ctg} \beta_4 - \operatorname{ctg} \beta_2)^2} \left( \frac{\Delta l_4}{\sin^2 \beta_4} - \frac{\Delta l_2}{\sin^2 \beta_2} \right). \quad (17)$$

Для корпусных диодов со значением общей емкости  $C_{\text{кор}} < C_A < 1,4 C_{\text{кор}}$  и для бескорпусных диодов значение  $r_{\text{обр}}$  рассчитывают по формуле

$$r_{\text{обр}} = \frac{\pi}{Z_0 \lambda \sin^2 \beta_2} \left( \frac{1}{\omega C_{\text{стр}}} - \omega L \right)^2 (\Delta l_4 - \Delta l_2). \quad (18)$$

При выполнении условия  $\omega L \geq 1/\omega(C_A - C_{\text{кор}})$  значение  $r_{\text{обр}}$  рассчитывают по формуле

$$r_{\text{обр}} = \frac{Z_0 \pi}{\lambda} \left[ \frac{\Delta l_4}{\cos^2 \beta_4 \left( 1 + \frac{\tan \beta_4}{\tan \beta_2} \right)^2} - \Delta l_2 \right]. \quad (20)$$

2.5.3. Значение  $R_{\text{обр}}$  рассчитывают по формуле

$$R_{\text{обр}} = \frac{Z_0 \lambda}{\pi} \frac{\sin^2 \beta_4}{(\Delta l_4 - \Delta l_2)} \left( 1 + \frac{\tan \beta_1}{\tan \beta_4} \right)^2. \quad (21)$$

## 2.6. Показатели точности измерений

2.6.1. Погрешность измерения прямого сопротивления потерь  $r_{\text{пр}}$  с установленной вероятностью 0,95 приведена в табл. 2.

Таблица 2

Пределы измерения значения $r_{\text{пр}}$ , Ом	Диапазон частот измерения, ГГц	Погрешность измерения, %
0,2—10,0	От 0,3 до 1,0 включ.	±25
0,2—10,0	Св. 1,0 $\rightarrow$ 5,0 $\rightarrow$	±35
От 0,2 до 0,5 включ.	5,0—10	±45
Св. 0,5 $\rightarrow$ 10,0 $\rightarrow$	5,0—10	±30

2.6.2. Погрешность измерения обратного сопротивления потерь ( $r_{\text{обр}}$ ) с установленной вероятностью 0,95 приведена в табл. 3.

Таблица 3

Пределы измерения значения $r_{\text{обр}}$ , Ом	Значение емкости диодов, пФ	Диапазон частот измерения, ГГц	Погрешность измерения, %
0,5—10	От 3,0 до 1,2 включ.	От 0,3 до 1,0 включ.	±15,0
0,5—10	Менее 1,2 до 0,5 $\rightarrow$	Св. 1,0 $\rightarrow$ 5,0 $\rightarrow$	±25,0
0,5—10	$\rightarrow$ 0,5 $\rightarrow$ 0,05 $\rightarrow$	$\rightarrow$ 5,0 $\rightarrow$ 10,0 $\rightarrow$	±35,0

2.6.3. Погрешность измерения ( $R_{\text{обр}}$ ) находится в интервале  $\pm 35\%$  с установленной вероятностью 0,95 в диапазоне частот 0,3—10 ГГц, для значений  $R_{\text{обр}} < 5$  кОм.

Требования к погрешности измерения  $r_{\text{пр}}$ ,  $r_{\text{обр}}$ ,  $R_{\text{обр}}$  для значений измеряемых параметров, не установленных в настоящем стандарте, должны быть приведены в ТУ на диоды конкретных типов.

2.6.4. Пример расчета погрешности приведен в приложении 2.

### 3. МЕТОД ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ С ФИКСИРОВАННЫМ ЗОНДОМ

#### 3.1. Принцип, условия и режим измерения

3.1.1. Принцип измерения  $r_{\text{пр}}$ ,  $r_{\text{обр}}$ ,  $R_{\text{обр}}$  соответствует требованиям п. 2.1 и эквивалентности между частотой и линейной зависимостью фазы отраженного сигнала при измерении в режимах качания частоты и фиксированной частоты соответственно.

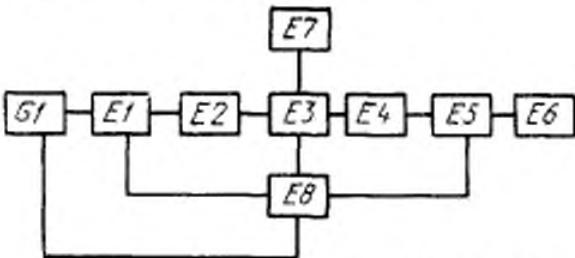
3.1.2. Значения частоты измерения и напряжения смещения, при которых проводят измерения, должны быть приведены в ТУ на диоды конкретных типов.

Диапазон качания частоты определяется шириной полосы частот, необходимой для измерения заданных значений сопротивлений  $r_{\text{пр}}$  и  $r_{\text{обр}}$ ,  $R_{\text{обр}}$  и наблюдения смещения минимума в режиме обратного смещения и ХХ относительно плоскости отсчета.

3.1.3. Уровень СВЧ мощности, при котором проводят измерения, определяется панорамным измерителем коэффициента стоячей волны по напряжению и ослаблений.

#### 3.2. Аппаратура

3.2.1. Измерения следует проводить на установке, структурная схема которой приведена на черт. 3.



$G1$ —генератор качающейся частоты;  $E1$ —ответвитель направлений;  $E2$ ,  $E4$ —вентили ферритовые;  $E3$ —транзистор ввода смещения;  $E5$ —камера диодная;  $E7$ —источник смещения;  $E8$ —индикатор КСВН и ослаблений;  $E6$ —линия измерительная

Черт. 3

3.2.2. Ответвитель направлений  $E1$  должен иметь переходное ослабление и направленность не менее 20 дБ.

3.2.3. В индикаторе КСВН и ослаблений  $E8$  диапазон входных напряжений канала падающей волны 0,03—10 мВ. При этом уро-

вень напряжения в канале отраженной волны должен быть не менее 1 мкВ.

3.2.4. Полоса пропускания измерительной линии  $E5$  должна соответствовать диапазону качания частоты, отвечающему требованиям п. 3.1.2, требуемую величину полосы пропускания зонда  $\Delta F$  определяют экспериментально по смещению минимума стоячей волны напряжения в режиме  $XX$  относительно плоскости отсчета или из соотношения

$$\Delta F = f[(n+1) - \sqrt{n(n+2)}], \quad (22)$$

где  $n$  — порядок наблюдаемого минимума стоячей волны напряжения.

Метод измерения полосы пропускания зонда измерительной линии приведен в приложении 5.

При полосе пропускания зонда измерительной линии, не достаточной для наблюдения минимума стоячей волны напряжения в режиме  $XX$ , допускается перемещать зонд измерительной линии от плоскости отсчета в сторону генератора на расстояние четверти длины волны или применять двухзондовую измерительную линию, зонды которой разнесены на то же расстояние.

3.2.5. Требования к тройнику ввода смещения  $E3$ , источнику смещения  $E7$ , диодной камере  $E6$  и эквивалентам  $K3$  и  $XX$  должны соответствовать пп. 2.2.3—2.2.6.

3.2.6. Генератор качающейся частоты  $G1$ , вентили ферритовые  $E2, E4$  — по ГОСТ 19656.0—74.

3.3. Подготовка к проведению измерений

3.3.1. Эквивалент  $K3$  вставляют в диодную камеру.

3.3.2. Зонд измерительной линии устанавливают в точку наблюдаемого на экране индикатора минимума стоячей волны напряжения (плоскость  $K3$ ), ближайшего к выходному концу измерительной линии.

3.3.3. Определяют значение частоты  $f_1$  в герцах наблюдаемого на экране индикатора минимума стоячей волны напряжения, ближайшего к выходному концу линии. Частота  $f_1$  равна частоте измерения.

3.3.4. Определяют значение частот  $f_{1a}$  и  $f_{1s}$  в герцах на уровне по 3 дБ справа и слева от минимума стоячей волны.

3.3.5. Рассчитывают значение разности частот  $\Delta f_1$  в герцах, по формуле

$$\Delta f_1 = f_{1a} - f_{1s}. \quad (23)$$

3.3.6. Эквивалент  $XX$  вставляют в диодную камеру.

3.3.7. Определяют частоту наблюдаемого минимума стоячей волны напряжения ( $f_2$ ) в герцах.

Если для наблюдения минимума стоячей волны напряжения в режиме  $XX$  и обратного смещения применяется двухзондовая из-

мерительная линия или зонд линии перемещается в сторону генератора на расстояние четверти длины волны от плоскости отсчета, то частота  $f_2$  равна частоте измерения.

3.3.8. Определяют частоты  $f_{2a}$  и  $f_{2s}$  в герцах на уровне по 3 дБ справа и слева от минимума стоячей волны.

3.3.9. Рассчитывают разность частот  $\Delta f_2$  в герцах по формуле

$$\Delta f_2 = f_{2a} - f_{2s}. \quad (24)$$

### 3.4. Проведение измерений

#### 3.4.1. Измерение прямого сопротивления потерь

3.4.1.1. Проверяемый диод вставляют в диодную камеру и устанавливают заданное значение прямого тока смещения.

3.4.1.2. Определяют частоту наблюдаемого минимума стоячей волны напряжения ( $f_3$ ) в герцах.

3.4.1.3. Определяют значения частот  $f_{3a}$  и  $f_{3s}$  в герцах на уровне по 3 дБ справа и слева от минимума стоячей волны соответственно.

3.4.1.4. Рассчитывают разность частот  $\Delta f_3$  в герцах по формуле

$$\Delta f_3 = f_{3a} - f_{3s}. \quad (25)$$

#### 3.4.2. Измерение обратного сопротивления потерь

3.4.2.1. На проверяемом диоде устанавливают заданное значение обратного напряжения смещения.

3.4.2.2. Определяют частоту минимума стоячей волны напряжения  $f_4$  в герцах.

3.4.2.3. Определяют значения частот  $f_{4a}$  и  $f_{4s}$  в герцах на уровне по 3 дБ справа и слева от минимума стоячей волны соответственно.

3.4.2.4. Рассчитывают разность частот  $\Delta f_4$  в герцах по формуле

$$\Delta f_4 = f_{4a} - f_{4s}. \quad (26)$$

### 3.5. Обработка результатов

3.5.1. Разность показаний индикатора измерительной линии в точках справа и слева от точки минимума, в которых напряженность электрического поля в линии вдвое больше минимального значения  $I_i$  ( $\Delta I_i$ ) в миллиметрах, рассчитывают по формуле

$$\Delta I_i = \frac{\Delta f_i}{20 f_{In} \cdot f_{Is}} \cdot nc, \quad (27)$$

где  $i=1$  при нагрузке диодной камеры на эквивалент КЗ;

$i=2$  при нагрузке диодной камеры на эквивалент ХХ;

$i=3$  при подаче на диод прямого смещения;

$i=4$  при подаче на диод обратного смещения;

$\Delta f_i$  — значение, определяемое по пп. 3.3.5, 3.3.9, 3.4.1.4, 3.4.2.4;

$f_{\text{in}}, f_{\text{in}}$  — значения частот, определяемых по пп. 3.3.4, 3.3.8, 3.4.1.3; 3.4.2.3;

$n$  — порядок наблюдаемого минимума, рассчитываемый по формуле

$$n = \frac{2f}{c}, \quad (28)$$

где  $l$  — расстояние от плоскости включения эквивалента КЗ до наблюдаемого минимума стоячей волны в режиме КЗ, мм. Порядок наблюдаемого минимума стоячей волны в режимах ХХ, прямого и обратного смещения принимают тот же;

$f$  — частота измерения, определяемая по п. 3.3.3;

$c$  — скорость света, равная  $3 \cdot 10^{11}$  мм/с.

3.5.2. Значения смещений минимума стоячей волны по напряжению относительно плоскости отсчета ( $l_1 - l_2$ ), ( $l_1 - l_4$ ), ( $l_2 - l_1$ ) рассчитывают по формуле

$$l_1 - l_2 \text{ (или } l_3 - l_1) = \frac{f - f_i}{20f f_i} \cdot nc, \quad (29)$$

где  $i=2$  при нагрузке диодной камеры на эквивалент ХХ;

$i=4$  при подаче на диод обратного смещения;

$l_3 - l_1$  — смещение минимума стоячей волны по напряжению относительно плоскости отсчета при подаче на диод прямого смещения;

$f_i$  — значение частоты, определяемое по пп. 3.3.3, 3.3.7, 3.4.1.2, 3.4.2.2.

При недостаточной широкополосности линии зонд измерительной линии устанавливают в положение , указанное в п. 3.2.4, значение  $l_1 - l_4$  при этом рассчитывают по формуле

$$l_1 - l_4 = \frac{f - f_i}{20f f_i} \cdot nc + \frac{c}{4f}. \quad (30)$$

3.5.3. Значения прямого и обратного сопротивлений потерь рассчитывают по формулам (8—21) при подстановке в них значений  $\Delta l_i$  и  $l_1 - l_i$ , определяемых по формулам (27—30).

### 3.6. Показатели точности измерений

3.6.1. Погрешность измерения прямого сопротивления потерь  $r_{\text{пр}}$  с установленной вероятностью 0,95 приведена в табл. 4.

Таблица 4

Пределы измерения значений $r_{\text{пр}}$ , Ом	Диапазон частот измерения, ГГц	Погрешность измерения, %
0,2—10,0	От 0,3 до 1,0 включ.	±25
0,2—10,0	Св. 1,0 > 5,0 >	±35
От 0,2 до 0,5 включ.	От 5,0 > 10,0 >	±45
Св. 0,5 > 10,0 >	Св. 5,0 > 10,0 >	±30

3.6.2. Погрешность измерения обратного сопротивления потерь  $r_{обр}$  с установленной вероятностью 0,95 приведена в табл. 5.

Таблица 5

Пределы измерения зна- чений $r_{обр}$ , Ом	Значение ёмкости диода, пФ	Диапазон частот измере- ния, ГГц	Погрешность измерения, %
0,5—10	От 3,0 до 1,2 включ.	От 0,3 до 1,0 включ.	±15
0,5—10	Менее 1,2 до 0,5 включ.	Св. 1,0 > 5,0 >	±25
0,5—10	> 0,5 > 0,06 >	Св. 5,0 > 10,0 >	±35

3.6.3. Погрешность измерения  $R_{обр}$  находится в интервале  $\pm 35\%$  с установленной вероятностью 0,95 в диапазоне частот 0,3—10 ГГц для значений  $R_{обр} < 5$  кОм.

Требования к погрешности измерения  $r_{пр}$ ,  $r_{обр}$ ,  $R_{обр}$  для значений измеряемых параметров, не установленных настоящим стандартом, должны быть приведены в ТУ на диоды конкретных типов.

3.6.4. Пример расчета погрешности приведен в приложении 3.

#### 4. РЕЗОНАТОРНЫЙ МЕТОД ( $r_{пр}$ , $r_{обр}$ , $R_{обр}$ )

4.1. Принцип, условия и режим измерения

4.1.1. Прямое ( $r_{пр}$ ) и обратное ( $r_{обр}$ ,  $R_{обр}$ ) сопротивления потерь определяют исходя из измерения добротности резонаторного устройства с включенным в него измеряемым диодом и учета потерь в резонаторе, определяемых с помощью эквивалентов КЗ и ХХ.

4.1.2. Значения частоты измерения и напряжения (тока) смещения следует приводить в ТУ на диоды конкретных типов.

##### 4.2. Аппаратура

4.2.1. Измерения проводят на установке, структурная схема которой приведена на черт. 4.

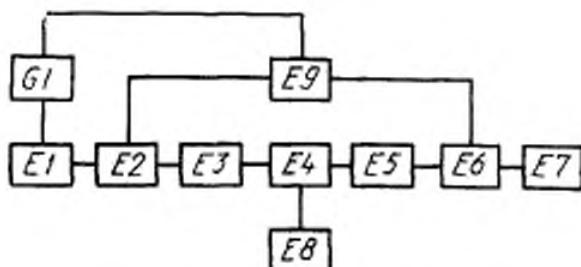
4.2.2. Элементы, входящие в структурную схему, должны удовлетворять следующим требованиям:

1) ответвители направленные  $E2$  и  $E6$  должны иметь переходное ослабление и направленность не менее 20 дБ;

2) нагрузка согласованная  $E7$  должна иметь коэффициент стоячей волны не более 1,2;

3) резонатор  $E4$  должен иметь добротность с эквивалентом КЗ и ХХ не менее 500;

4) индикатор КСВН и ослаблений  $E9$  должен удовлетворять требованиям п. 3.2.3.;



*G1*—генератор качающейся частоты; *E1*—аттенюатор;  
*E2*, *E6*—ответы на направление; *E3*, *E5*—вентили;  
*E4*—резонатор с пропускным диодом; *E7*—нагрузка;  
*E8*—источник смещения; *E9*—индикатор КСВН и ослабления

Черт. 4

5) эквиваленты КЗ и ХХ должны удовлетворять требованиям пп. 1.2.2 и 2.2.6;

6) генератор качающейся частоты *G1*, вентили *E3*, *E5*, аттенюатор *E1* — по ГОСТ 19656.0—74;

7) калибровочный резистор должен представлять собой деталь из кремния с металлизацией;

8) значение сопротивления калибровочного резистора не должно отличаться от номинального значения более чем на 10 % и находиться в пределах 0,2—2,5 Ом;

9) калибровочный конденсатор должен представлять собой деталь из кварца с металлизацией;

10) значение емкости калибровочного конденсатора не должно отличаться от номинального значения более чем на 10 % и лежать в пределах 0,05—1,0 пФ;

11) чертежи на калибровочные резисторы и конденсаторы и значения сопротивлений и емкостей калибровочных резисторов и конденсаторов должны быть приведены в ТУ на диоды конкретных типов.

#### 4.3. Подготовка к проведению измерений

4.3.1. Эквивалент КЗ вставляют в резонатор.

4.3.2. Измеряют резонансную частоту ( $f_1$ ) в мегагерцах, характеристики и частоты  $f_{10}$ ,  $f_{11}$  в мегагерцах, на уровне по 3 дБ справа и слева от уровня характеристики на частоте резонанса.

4.3.3. Рассчитывают значение добротности резонатора с эквивалентом КЗ ( $Q_{K3}$ ) по формуле

$$Q_{K3} = \frac{f_1}{f_{10} - f_{11}}. \quad (31)$$

4.3.4. Эквивалент ХХ вставляют в резонатор.

4.3.5. Измеряют резонансную частоту ( $f_2$ ) в мегагерцах, характеристики и частоты  $f_{2n}$ ,  $f_{2a}$  в мегагерцах на уровне по 3 дБ справа и слева от уровня характеристики на частоте резонанса.

4.3.6. Рассчитывают значение добротности резонатора с эквивалентом ХХ ( $Q_{XX}$ ) по формуле

$$Q_{XX} = \frac{f_2}{f_{2n} - f_{2a}}. \quad (32)$$

4.3.7. Калибровочный резистор с установленным значением сопротивления вставляют в резонатор.

4.3.8. Определяют резонансную частоту ( $f_p$ ) в мегагерцах, характеристики и частоты  $f_{p,n}$ ,  $f_{p,a}$  в мегагерцах, на уровне по 3 дБ справа и слева от уровня характеристики на частоте резонанса.

4.3.9. Рассчитывают значение добротности резонатора с калибровочным резистором  $Q_{kp}$  по формуле

$$Q_{kp} = \frac{f_p}{f_{p,n} - f_{p,a}}. \quad (33)$$

4.3.10. Рассчитывают значение коэффициента связи ( $K_{cs}$ ) в омах по формуле

$$K_{cs} = \frac{r_{kp}}{1/Q_{kp} - 1/Q_{k3}}, \quad (34)$$

где  $r_{kp}$  — установленное значение сопротивления калибровочного резистора, в Ом.

4.3.11. Калибровочный конденсатор с установленным значением емкости  $C_1$  в пикофарадах вставляют в резонатор.

4.3.12. Определяют значение резонансной частоты характеристики ( $f_{C1}$ ), в мегагерцах.

4.3.13. Калибровочный конденсатор с установленным значением емкости  $C_2 > C_1$  в пикофарадах вставляют в резонатор.

4.3.14. Определяют значение резонансной частоты характеристики ( $f_{C2}$ ) в мегагерцах.

4.3.15. Рассчитывают значение эквивалентной емкости резонатора  $C_0$  в пикофарадах по формуле

$$C_0 = \frac{C_1 - C_2 \cdot \left( \frac{f_{C2}}{f_{C1}} \right)^2}{\left( \frac{f_{C2}}{f_{C1}} \right)^2 - 1}. \quad (35)$$

#### 4.4. Проведение измерений

4.4.1. Измеряемый диод вставляют в резонатор.

4.4.2. Заданное значение прямого тока смещения подают на проверяемый диод.

4.4.3. Определяют резонансную частоту характеристики  $f_3$  в мегагерцах и частоты  $f_{3n}$ ,  $f_{3a}$  в мегагерцах на уровне по 3 дБ справа и слева от уровня характеристики на частоте резонанса.

4.4.4. Заданное значение обратного напряжения смещения подают на проверяемый диод.

4.4.5. Определяют резонансную частоту характеристики  $f_4$  в мегагерцах и частоты  $f_{4n}$ ,  $f_{4a}$  в мегагерцах на уровне по 3 дБ справа и слева от уровня характеристики на частоте резонанса.

#### 4.5. Обработка результатов

4.5.1. Значение прямого сопротивления потерь  $r_{np}$  рассчитывают по формуле

$$r_{np} = K_{cs} \left( \frac{1}{Q_{np}} - \frac{1}{Q_{K3}} \right), \quad (36)$$

где  $K_{cs}$  — коэффициент связи, Ом, определяемый по п. 4.3.10;

$Q_{K3}$  — значение добротности резонатора с эквивалентом К3, определяемое по п. 4.3.3;

$Q_{np} = \frac{f_3}{f_{3n} - f_{3a}}$  — значение добротности при прямом смещении на диоде;

$f_3$  — значение резонансной частоты характеристики резонатора с диодом в режиме прямого смещения, МГц, определяемое по п. 4.4.3;

$f_{3n}$ ,  $f_{3a}$  — значения частот на уровне по 3 дБ от уровня характеристики на частоте резонанса, МГц, определяемые по п. 4.4.3.

4.5.2. Значение обратного сопротивления потерь ( $r_{obp}$ ) в омах рассчитывают по формуле

$$r_{obp} = \frac{C_0}{2\pi f_4 C_{ctr}^2} \left( \frac{1}{Q_{obp}} - \frac{1}{Q_{xx}} \right), \quad (37)$$

где  $C_0$  — значение эквивалентной емкости резонатора, Ф, определяемое по п. 4.3.15;

$Q_{xx}$  — значение добротности резонатора с эквивалентом XX, определяемое по п. 4.3.6;

$C_{ctr}$  — значение емкости структуры диода, Ф, определяемое по ГОСТ 18986.4—73;

$f_4$  — значение резонансной частоты характеристики резонатора с диодом, Гц, в режиме обратного смещения, определяемое по п. 4.4.5;

$Q_{obp}$  — значение добротности при подаче на проверяемый диод обратного смещения, рассчитываемое по формуле

$$Q_{obp} = \frac{f_4}{f_{4n} - f_{4a}}, \quad (38)$$

где  $f_{4n}$ ,  $f_{4a}$  — значения частот, определяемые по п. 4.4.5.

4.5.3. Значение  $R_{обр}$  в омах рассчитывают по формуле

$$R_{обр} = \frac{1}{2\pi f_4 C_0} \cdot \left( \frac{1}{f_{4n} - f_{4x}} - \frac{1}{Q_{XX}} \right). \quad (39)$$

4.6. Показатели точности измерения

4.6.1. Погрешность измерения прямого сопротивления потерь  $r_{пр}$  находится в интервале  $\pm 20\%$  с установленной вероятностью 0,95 в диапазоне частот 0,5—10 ГГц для значений  $r_{пр}$  в пределах 0,2—10,0 Ом.

4.6.2. Погрешность измерения обратного сопротивления потерь  $r_{обр}$  находится в интервале  $\pm 25\%$  с установленной вероятностью 0,95 в диапазоне частот 0,5—10 ГГц для значений  $r_{обр}$  в пределах 0,5—10 Ом.

4.6.3. Погрешность измерения  $R_{обр}$  находится в интервале  $\pm 25\%$  с установленной вероятностью 0,95 в диапазоне частот 0,3—10 ГГц для значений  $R_{обр}$  в пределах до 100 кОм.

4.6.4. Погрешность измерения  $r_{пр}$ ,  $r_{обр}$ ,  $R_{обр}$  для значений, не установленных настоящим стандартом, должна быть приведена в технических условиях на диоды конкретных типов.

4.6.5. Пример расчета погрешности приведен в приложении 4.

## ПРИЛОЖЕНИЕ I

Справочное

### РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ПРИ НИЗКОМ УРОВНЕ СВЧ МОЩНОСТИ

Прологарифмировав и продифференцировав формулу (3), получаем выражение для расчета погрешности

$$\delta r = K \sqrt{\left( \frac{A_1}{K_1} \delta Z_0 \right)^2 + \left( \frac{A_2}{K_2} \delta \lambda \right)^2 + \left( \frac{A_3}{K_3} \delta \Delta I_1 \right)^2 + \left( \frac{A_4}{K_4} \delta \beta_1 \right)^2 + \left( \frac{A_5}{K_5} \delta \Delta I_2 \right)^2 + \left( \frac{A_6}{K_6} \delta \beta_2 \right)^2}, \quad (40)$$

где  $\delta Z_0$  — относительное отклонение значения  $Z_0$  от nominalного значения;

$\delta \lambda$  — погрешность установления длины волны в измерительной линии;

$\delta \Delta I_1$  — погрешность определения значения ширины минимума коэффициента стоячей волны по напряжению при нагрузке диодной камеры на эквивалент XX;

$$\delta \Delta I_1 = \frac{\Delta I}{\Delta I_1} \cdot 100\%;$$

$\Delta l$  — абсолютная погрешность отсчета индикатора часового типа измерительной линии;  
 $\delta \Delta l_2$  — погрешность определения значения ширины минимума коэффициента стоячей волны по напряжению при нагрузке камеры на проверяемый диод;

$$\delta \Delta l_2 = \frac{\Delta l}{\Delta l_2} \cdot 100\%; \quad (41)$$

$$A_1 = A_2 = 1;$$

$$A_3 = \frac{\Delta l_1 \sin^2 \beta_2}{\Delta l_2 \sin^2 \beta_1 - \Delta l_1 \sin^2 \beta_2}; \quad (42)$$

$$A_4 = 2\beta_2 \operatorname{cosec} \beta_1 \frac{\Delta l_1 \sin^2 \beta_2}{\Delta l_2 \sin^2 \beta_1 - \Delta l_1 \sin^2 \beta_2}; \quad (43)$$

$$A_5 = \frac{\Delta l_2 \cdot \sin^2 \beta_1}{\Delta l_2 \cdot \sin^2 \beta_1 - \Delta l_1 \sin^2 \beta_2}; \quad (44)$$

$$A_6 = 2\beta_2 \operatorname{cosec} \beta_2 \frac{\Delta l_2 \cdot \sin^2 \beta_1}{\Delta l_2 \cdot \sin^2 \beta_1 - \Delta l_1 \sin^2 \beta_2}; \quad (45)$$

$\lambda$  — коэффициент, зависящий от закона распределения суммарной погрешности измерения и установленной вероятности  $P$ . Для нормального закона распределения и вероятности 0,95  $\lambda = 1,96$ ;

$K_{1-6}$  — коэффициенты, зависящие от законов распределения составляющих погрешности;

$K_1 = K_2 = 1,73$  (равномерный закон);

$K_3 = K_5 = 2,4$  (треугольный закон);

$K_4 = K_6 = 3,0$  (нормальный закон);

$$\delta \beta_1 = \sqrt{(\delta \lambda)^2 + \{ \delta(l_{no} - l_1) \}^2}; \quad (46)$$

$$\delta \beta_2 = \sqrt{(\delta \lambda)^2 + \{ \delta(l_{no} - l_2) \}^2}; \quad (47)$$

где  $\delta(l_{no} - l_1)$  — погрешность отсчета по линейке измерительной линии для определения  $\beta_1$ ;

$$\delta(l_{no} - l_1) = \frac{\Delta(l_{no} - l_1)}{l_{no} - l_1}; \quad (48)$$

$\Delta(l_{no} - l_1)$  — абсолютная погрешность отсчета по линейке измерительной линии;

$\delta(l_{no} - l_2)$  — погрешность отсчета по линейке измерительной линии для определения  $\beta_2$ ;

$$\delta(l_{no} - l_2) = \frac{\Delta(l_{no} - l_2)}{l_{no} - l_2}; \quad (49)$$

$\Delta(l_{no} - l_2)$  — абсолютная погрешность отсчета по линейке измерительной линии.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2  
Справочное

**РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЯМОГО И ОБРАТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОТЕРЬ (МЕТОД ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ С ПОДВИЖНЫМ ЗОНДОМ)**

**1. Расчет погрешности измерения прямого сопротивления**

Прологарифмировав и продифференцировав формулы (8, 9, 10), получаем выражение для расчета погрешности измерения  $r_{np}$

$$\delta r_{np} = K \sqrt{\left(\frac{A_1}{K_1} \delta r_1\right)^2 + \left(\frac{A_2}{K_2} \delta r_2\right)^2}, \quad (50)$$

$$\text{где } A_1 = \frac{1}{r_{np}} \left[ r_{np} + \frac{Z_0 \pi \Delta l_1}{\lambda} \right], \quad (51)$$

$$A_2 = \frac{Z_0 \pi}{\lambda} \cdot \frac{\Delta l_1}{r_{np}}, \quad (52)$$

$$\delta r_1 = \sqrt{(Z_0)^2 + (\lambda)^2 + (\Delta l_1)^2 + \left[ \frac{2 \beta_1 \lg \beta_1 \delta \beta_2}{\sin^2 \beta_1 \left( 1 + \frac{\lg \beta_1}{\lg \beta_2} \right)} \right]^2 + \left[ \left( \frac{2 \beta_1}{\cos^2 \beta_1 \left( 1 + \frac{\lg \beta_1}{\lg \beta_2} \right) \lg \beta_2} - 2 \beta_1 \lg \beta_1 \right) \delta \beta_1 \right]^2}; \quad (53)$$

$$\delta r_2 = \sqrt{(\delta Z_0)^2 + (\delta \Delta l_1)^2 + (\delta \lambda)^2}; \quad (54)$$

$$\delta \beta_1 = \sqrt{(\delta \lambda)^2 + (\delta (l_3 - l_1))^2}; \quad (55)$$

$$\delta \beta_2 = \sqrt{(\delta \lambda)^2 + (\delta (l_1 - l_2))^2}; \quad (56)$$

$K$  — коэффициент, зависящий от закона распределения суммарной погрешности измерения и установленной вероятности  $P$ . Для нормального закона распределения и вероятности 0,95  $K=1,96$ ;

$K_{1,2}$  — коэффициенты, зависящие от законов распределения составляющих погрешностей.

$K_1 = K_2 = 1,73$  (равномерный закон).

**2. Расчет погрешности измерения обратного сопротивления**

Прологарифмировав и продифференцировав формулы (13, 14 и 15), получаем выражение для расчета погрешности измерения  $r_{obr}$

$$\delta r_{obr} = K \sqrt{\left(\frac{A_1}{K_1} \delta Z_0\right)^2 + \left(\frac{A_2}{K_2} \delta \lambda\right)^2 + \left(\frac{A_3}{K_3} \delta \omega\right)^2 + \left(\frac{A_4}{K_4} \delta C\right)^2 + \left(\frac{A_5}{K_5} \delta L\right)^2 + \left(\frac{A_6}{K_6} \delta \Delta l_4\right)^2 + \left(\frac{A_7}{K_7} \delta \Delta l_2\right)^2 + \left(\frac{A_8}{K_8} \delta \beta_2\right)^2 + \left(\frac{A_9}{K_9} \delta \beta_4\right)^2}, \quad (57)$$

$$\text{где } A_1 = A_2 = 1; A_3 = 2; \quad (58)$$

$$A_4 = \frac{2}{\omega C} \frac{1}{\left( \frac{1}{\omega C} - \omega L \right)}; \quad (59)$$

$$A_5 = \frac{\frac{2\omega L}{1}}{\frac{1}{\omega C} - \omega L}; \quad (60)$$

$$A_6 = \frac{\Delta l_4 \sin^2 \beta_2}{(\Delta l_4 \sin^2 \beta_2 - \Delta l_2 \sin^2 \beta_4)}; \quad (61)$$

$$A_7 = \frac{\Delta l_2 \sin^2 \beta_4}{\Delta l_4 \sin^2 \beta_2 - \Delta l_2 \sin^2 \beta_4}; \quad (62)$$

$$A_8 = 2\beta_2 \operatorname{ctg} \beta_2 \frac{\Delta l_2 \sin^2 \beta_4}{(\Delta l_4 \sin^2 \beta_2 - \Delta l_2 \sin^2 \beta_4)}; \quad (63)$$

$$A_9 = 2\beta_4 \operatorname{ctg} \beta_4 \frac{\Delta l_4 \sin^2 \beta_2}{\Delta l_4 \sin^2 \beta_2 - \Delta l_2 \sin^2 \beta_4}; \quad (64)$$

$$\delta \beta_2 = \sqrt{(\delta \lambda)^2 + [\delta(l_1 - l_2)]^2}; \quad (65)$$

$$\delta \beta_4 = \sqrt{(\delta \lambda)^2 + [\delta(l_1 - l_4)]^2}; \quad (66)$$

$K_{1-9}$  — коэффициенты, зависящие от законов распределения составляющих погрешностей, при этом:

$K_1 = K_2 = K_3 = 1,73$  (равномерный закон);

$K_6 = K_7 = 2,4$  (треугольный закон);

$K_4 = K_9 = 3,0$  (нормальный закон);

$K_5 = K_8 = 1,96$  (нормальный закон).

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

#### Справочное

## РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЯМОГО И ОБРАТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОТЕРЬ (МЕТОД ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ С ФИКСИРОВАННЫМ ЗОНДОМ)

Значение погрешности измерения  $t_{\text{пр}}$  и  $t_{\text{обр}}$  рассчитывают по формулам (36—66) с учетом значений погрешностей  $\delta \Delta l_i = \delta \Delta l_4$ ,  $\delta(l_1 - l_2)$ ,  $\delta(l_1 - l_4)$ ,  $\delta(l_2 - l_1)$ , рассчитываемых по формулам:

$$\delta \Delta l_{i=1-4} = \sqrt{\left( \frac{f_{l_2}}{f_{l_1} - f_{l_2}} \cdot \delta f_{l_1} \right)^2 + \left( \frac{f_{l_2}}{f_{l_1} - f_{l_2}} \cdot \delta f_{l_2} \right)^2 + (\delta f_{l_1})^2 + (\delta f_{l_2})^2}, \quad (67)$$

где  $\delta \Delta l_i$  — погрешность определения значения ширины минимума коэффициента стоячей волны по напряжению: при нагрузке диодной камеры на эквивалент КЗ ( $i=1$ ); при нагрузке камеры на эквивалент ХХ ( $i=2$ ); при нагрузке камеры на диод в режиме прямого смещения ( $i=3$ ); при нагрузке камеры на диод в режиме обратного смещения ( $i=4$ );

$\delta f_{in}, \delta f_{ia}$  — погрешность измерения частот в точках на уровне по 3 дБ от минимума стоячей волны напряжения в режимах КЗ ( $i=1$ ), ХХ ( $i=2$ ) прямого ( $i=3$ ) и обратного ( $i=4$ ) смещений, определяемая погрешностью измерения частот панорамным измерителем;

$$\delta(f_{i_1}-f_{i_2}) = \sqrt{\left(\frac{f_{i_1}}{f_{i_1}-f_{i_2}} \delta f_{i_1}\right)^2 + \left(\frac{f_{i_2}}{f_{i_1}-f_{i_2}} \delta f_{i_2}\right)^2 + (\delta f_{i_1})^2 + (\delta f_{i_2})^2}, \quad (68)$$

где  $i=2, 4$ ;

$\delta(f_{i_2}-f_{i_1})$  — погрешность определения смещения минимума стоячей волны по напряжению относительно плоскости отсчета при нагрузке диодной камеры на эквивалент ХХ ( $i=2$ ); при подаче на диод обратного напряжения смещения ( $i=4$ );

$\delta(f_{i_3}-f_{i_1})$  — погрешность определения смещения минимума стоячей волны по напряжению относительно плоскости отсчета при подаче на диод прямого тока смещения;

$\delta f_i$  — погрешность измерения частот минимумов стоячей волны в режимах КЗ ( $i=1$ ), ХХ ( $i=2$ ), прямого ( $i=3$ ) и обратного ( $i=4$ ) смещений.

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 4

##### Справочное

#### РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЯМОГО И ОБРАТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОТЕРЬ (РЕЗОНАТОРНЫЙ МЕТОД)

1. Прологарифмировав и продифференцировав формулы (36, 37, 38), получаем выражения для расчета погрешности

1.1. Погрешность измерения  $r_{np}$  рассчитывают по формуле

$$\delta r_{np} = K \sqrt{\left(\frac{A_1}{K_1} \cdot \delta K_{cb}\right)^2 + \left(\frac{A_2}{K_2} \cdot \delta Q_{K3}\right)^2 + \left(\frac{A_3}{K_3} \cdot \delta Q_{np}\right)^2}, \quad (69)$$

где  $A_1 = 1$ ;

$$A_2 = \frac{Q_{np}}{Q_{K3} - Q_{np}}; \quad (70)$$

$$A_3 = \frac{Q_{K3}}{Q_{K3} - Q_{np}}; \quad (71)$$

$$\delta K_{cb} = \sqrt{(\delta r_{np})^2 - \left(\frac{Q_{np}}{Q_{K3} - Q_{np}} \cdot \delta Q_{K3}\right)^2 - \left(\frac{Q_{K3}}{Q_{K3} - Q_{np}} \cdot \delta Q_{np}\right)^2}; \quad (72)$$

$$\delta Q_{K3} = \sqrt{(\delta f_{in})^2 + \left(\frac{f_{in}}{f_{in} - f_{ia}} \cdot \delta f_{in}\right)^2 + \left(\frac{f_{ia}}{f_{in} - f_{ia}} \cdot \delta f_{ia}\right)^2}; \quad (73)$$

$\delta r_{np}$  — погрешность измерения сопротивления калибровочного резистора;

$\delta f_i$  — погрешность измерения частот точек резонансных характеристик резонатора в режиме прямого смещения на диоде для  $Q_{np}$  ( $i=3$ );

при эквиваленте КЗ, включенным в резонатор для  $Q_{K3}$  ( $i=1$ ), при калибровочном резисторе, включенным в резонатор  $Q_{np}$  ( $i=P$ ), определяемая погрешностью панорамного измерителя;

$K$  — коэффициент, зависящий от закона распределения суммарной погрешности измерения и установленной вероятности  $P$ . Для нормального закона распределения и вероятности 0,95  $K=1,96$ ;

$K_{1-5}$  — коэффициенты, зависящие от законов распределения составляющих погрешности.

$K_1=K_2=K_3=1,73$  (равномерный закон).

1.2. Погрешность измерения  $\sigma_{\text{обр}}$  рассчитывают по формуле

$$\delta\sigma_{\text{обр}}=K \sqrt{\left(\frac{B_1}{K_1}\delta Q_{XX}\right)^2 + \left(\frac{B_2}{K_2}\delta Q_{0,05p}\right)^2 + \left(\frac{B_3}{K_3}\delta C_0\right)^2 + \left(\frac{B_4}{K_4}\delta C_{\text{стр}}\right)^2 + \left(\frac{B_5}{K_5}\delta f_4\right)^2}, \quad (74)$$

$$\text{где } B_1 = \frac{Q_{0,05p}}{Q_{XX}-Q_{\text{обр}}}; \quad (75)$$

$$B_2 = \frac{Q_{XX}}{Q_{XX}-Q_{\text{обр}}}; \quad (76)$$

$$B_3 = B_4 = 1; \quad B_5 = 2;$$

$$\delta C_0 = \sqrt{\left[\left(\frac{f_{C1}/f_{C2}}{1-f_{C1}^2/f_{C2}^2}\right)\left(\frac{C_1-C_2}{f_{C1}/f_{C2}\cdot(C_1-C_2)}\right)\delta\left(\frac{f_{C1}}{f_{C2}}\right)\right]^2 + \left[\left(\frac{f_{C1}^2/f_{C2}^2\cdot C_1}{f_{C1}^2/f_{C2}^2\cdot(C_1-C_2)}\right)\left(\frac{C_2}{f_{C1}^2/f_{C2}^2(C_1-C_2)}\right)\delta C_2\right]^2}; \quad (77)$$

$$\delta\left(\frac{f_{C1}}{f_{C2}}\right) = \sqrt{(2\delta f_{C1})^2 + (2\delta f_{C2})^2}; \quad (78)$$

$$\delta Q_{XX} = \sqrt{(\delta f_{2n})^2 + \left(\frac{f_{2n}}{f_{2n}-f_{2A}}\right)^2 + (\delta f_{2A})^2 + \left(\frac{f_{2A}}{f_{2n}-f_{2A}}\cdot\delta f_{2n}\right)^2}; \quad (79)$$

$$\delta Q_{0,05p} = \sqrt{(\delta f_4)^2 + \left(\frac{f_{4n}}{f_{4n}-f_{4A}}\cdot\delta f_{4n}\right)^2 + \left(\frac{f_{4A}}{f_{4n}-f_{4A}}\cdot\delta f_{4n}\right)^2}; \quad (80)$$

$\delta C_{\text{стр}}$  — погрешность измерения емкости структуры диода, определяемая в соответствии с ГОСТ 18986.4—73;

$\delta f_{C1}, \delta f_{C2}$  — погрешности измерения емкостей калибровочных конденсаторов, определяемые в соответствии с ГОСТ 18986.4—73;

$K_{1-5}$  — коэффициенты, зависящие от законов распределения составляющих погрешности.

$K_1=K_2=K_3=1,73$  (равномерный закон);

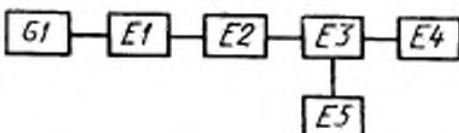
$K_4=K_5=1,96$  (нормальный закон).

**ПРИЛОЖЕНИЕ 5**  
**Рекомендуемое**

**МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ ЗОНДА  
 ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ (МЕТОД ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ  
 С ФИКСИРОВАННЫМ ЗОНДОМ)**

1. Для определения полосы пропускания зонда может быть использован метод измерения амплитудно-частотной характеристики зонда измерительной линии в требуемом диапазоне качания частоты.

2. Измерение производят на установке, электрическая структурная схема которой приведена на черт. 5.



*G1*—генератор СВЧ мощности; *E1*—вентиль ферритовая; *E2*—аттенюатор; *E3*—линия измерительная; *E4*— нагрузка согласованная; *E5*—индикаторный прибор

Черт. 5

3. На генераторе устанавливают частоту (*f*) требуемого диапазона качания.
4. Определяют величину сигнала *U* по шкале индикатора.
5. Перестраивают частоту генератора в пределах требуемого диапазона качания частоты, измеряя при этом величину сигнала по шкале индикатора.
6. Строят график зависимости.
7. Определяют ширину полосы частот, в которой величина сигнала превышает значение  $0,75 U_{\text{max}}$ .

При недостаточной ширине полосы пропускания зонда расширение полосы пропускания зонда достигается перемещением выступов диэлектрического плунжера зонда в верхнее и нижнее положения и вращением ручки перемещения поршня контура детектора головки измерительной линии.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 28.09.88 № 3291
2. Срок первой проверки 1994 г., периодичность проверки 5 лет
3. ВЗАМЕН ГОСТ 19656.10—75 и ГОСТ 19656.11—75
4. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

Обозначение ИТД, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта, перечисления, приложения
ГОСТ 18986.4—73 ГОСТ 19656.0—74	1.3.6; 2.5.2; 4.5.2; приложение 4 Вводная часть: 1.2.2, перечисление 1; пп. 2.2.2; 3.2.6; 4.2.2, перечисление 6

Редактор *Т. С. Шеко*

Технический редактор *Г. А. Теребинкина*

Корректор *О. Я. Чернецова*

Сдано в наб. 19.10.88 Подп. в печ. 09.12.88 1,5 усл. л. л. 1,63 усл. кр. отт 1,50 уч.-изд. л.  
Тираж 6000 Цена 10 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП,

Новомосковский пер., 3.

Калужская типография стандартов, ул. Московская, 236. Зак. 2432