ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

ДИОДЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНЫЕ И ОГРАНИЧИТЕЛЬНЫЕ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПОТЕРЬ

ГОСТ 19656.10—88

Издание официальное

Цена 10 коп. БЗ 8—88/545

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

Москва

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.382.2.029.6:006.354 Группа Э29

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

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 ($r_{низ}$) ограничительных СВЧ диодов;

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

а) метод измерительной линии с подвижным зондом;

б) метод измерительной линии с фиксированным зондом;

в) резонаторный метод.

Общие требования при измерениях — по ГОСТ 19656.0—74.

1. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ $r_{низ}$

1.1. Принцип, условия и режим измерения

1.1.1. Сопротивление потерь $r_{низ}$ 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 — XX).

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

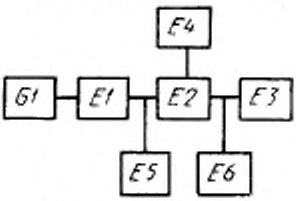
Издание официальное ★ Перепечатка воспрещена

© Издательство стандартов, 1988

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*—усилитель измерительный; *E5*—частотомер; *E6*—измеритель мощности

Черт. 1

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

1) вентиль ферритовый *E1*, генератор СВЧ мощности *G1*, линия измерительная *E2*, частотомер *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, 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 (l_1) в миллиметрах, ближайшего к выходному концу измерительной линии.

1.3.4. Определяют значение (Δl_1) в миллиметрах — разность показаний индикатора измерительной линии в точках (справа и слева от точки минимума l_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

$$K_{ст}\, v_{XX} = \frac{\lambda}{\pi \Delta l_1}\ , \qquad (1)$$

где λ — длина волны в измерительной линии, мм.

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

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

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

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 ($l_{по}$).

1.4.3. Определяют значение Δl_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 ($r_{низ}$) рассчитывают по формуле

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

где Δl_1 — значение, определяемое в соответствии с п. 1.3.4, мм;

Δl_2 — значение, определяемое в соответствии с п. 1.4.3, мм;

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

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

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

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

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 $r_{низ}$ должна находиться в интервале ±20 % с установленной вероятностью 0,95 в диапазоне частот 0,3—10 ГГц для значений $r_{низ}$ — в пределах 2—30 Ом.

1.6.2. Погрешность измерения значений $r_{низ}$, 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 ($r_{пр}$, $r_{обр}$, $R_{обр}$)

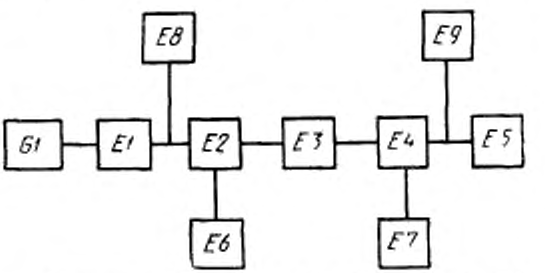
2.1. Принцип, условия и режим измерения

2.1.1. Прямое ($r_{пр}$) 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 диодная; *E6*—источник смещения; *E7*—измерительный усилитель; *E8*—частотомер; *E9*—измеритель мощности

Черт. 2

2.2.2. Генератор СВЧ мощности *G1*, вентили *E1*, *E3*, линия измерительная *E4*, частотомер *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 *Е6* должен обеспечивать задание и поддержание постоянного тока прямого смещения и постоянного напряжения обратного смещения с погрешностью в пределах ±5 %.

2.2.5. Измерительный усилитель *Е7* должен иметь чувствительность в пределах 1—10 мкВ.

2.2.6. Диодная камера *Е5* должна иметь волновое сопротивление, равное волновому сопротивлению измерительной линии и обеспечивать значения коэффициентов стоячей волны по напряжению с эквивалентом КЗ ($K_{ст\,U_{КЗ}}$) и ХХ ($K_{ст\,U_{ХХ}}$) в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Диапазон частот, ГГц	Сечение коаксиального тракта, мм	$K_{ст\,U_{КЗ}}$, не менее	$K_{ст\,U_{ХХ}}$, 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 Δl_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 $K_{ст\,U_{КЗ}}$ по формуле

$$K_{ст\,U_{КЗ}} = \frac{\lambda}{\pi \Delta l_1}, \qquad (6)$$

где λ — 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 Δl_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 $K_{ст}\upsilon_{XX}$ по формуле

$$K_{ст}\upsilon_{XX} = \frac{\lambda}{\pi\Delta l_2}. \qquad (7)$$

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 Δl_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 Δl_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 ($r_{пр}$) в омах рассчитывают по формуле

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

где Z_0 — волновое сопротивление линии, Ом;

Δl_3 — значение, определяемое по п. 2.4.1.3, мм;

Δl_1 — значение, определяемое по п. 2.3.4, мм;

λ — длина волны в измерительной линии, мм.

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

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

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

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

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

При выполнении условия

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

значение $r_{пр}$ рассчитывают по формуле

$$r_{пр}=\frac{Z_0\pi}{\lambda}(\Delta l_3-\Delta l_1). \tag{12}$$

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

$$r_{обр}=\frac{\pi}{Z_0\lambda}\left(\frac{1}{\omega C_{стр}}-\omega L\right)^2\left(\frac{\Delta l_3}{\sin^2\beta_4}-\frac{\Delta l_2}{\sin^2\beta_2}\right), \tag{13}$$

где ω — круговая частота, рассчитываемая по формуле

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

где f — частота измерения, Гц;

L — индуктивность диода, нГн, рассчитываемая по формуле

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

Δl_4 — значение, определяемое по п. 2.4.2.3, мм;

Δl_2 — значение, определяемое по п. 2.3.8, мм;

$C_{стр}$ — емкость структуры, Ф, рассчитываемая по формуле

$$C_{стр}=C_д-C_{кор},$$

где $C_д$ — общая емкость диода, Ф, определяемая по ГОСТ 18986.4—73;

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

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

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

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

При выполнении условия

$$\frac{1}{\omega C_{стр}}\geqslant 3\omega L \tag{16}$$

значение $r_{обр}$ рассчитывают по формуле

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

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

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

При выполнении условия $\omega L \geqslant 1/\omega(C_д - C_{кор})$ значение (19) $r_{обр}$ рассчитывают по формуле

$$r_{обр} = \frac{Z_0 \pi}{\lambda}\left[\frac{\Delta l_4}{\cos^2\beta_4\left(1 + \frac{\operatorname{tg}\beta_4}{\operatorname{tg}\beta_2}\right)^2} - \Delta l_1\right]. \qquad (20)$$

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

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

2.6. Показатели точности измерений

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

Таблица 2

Пределы измерения значений $r_{пр}$, 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.	5,0—10	±45
Св. 0,5 » 10,0 »	5,0—10	±30

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

Таблица 3

Пределы измерения значений $r_{обр}$, Ом	Значение емкости диода, 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 »	Св. 1,0 » 5,0 »	±25,0
0,5—10	» 0,5 » 0,05 »	» 5,0 » 10,0 »	±35,0

2.6.3. Погрешность измерения ($R_{обр}$) находится в интервале ±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 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 $r_{пр}$, $r_{обр}$, $R_{обр}$ 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.

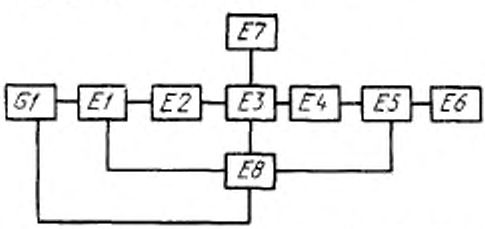
3.1.2. Значения частоты измерения и напряжения смещения, при которых проводят измерения, должны быть приведены в ТУ на диоды конкретных типов.

Диапазон качания частоты определяется шириной полосы частот, необходимой для измерения заданных значений сопротивлений $r_{пр}$ и $r_{обр}$, $R_{обр}$ и наблюдения смещения минимума в режиме обратного смещения и XX 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 направленный; *E2, E4*—вентили ферритовые; *E3*—тройник ввода смещения; *E6*—камера диодная; *E7*—источник смещения; *E8*—индикатор КСВН и ослаблений; *E5*—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 ΔF определяют экспериментально по смещению минимума стоячей волны напряжения в режиме ХХ относительно плоскости отсчета или из соотношения

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

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 ХХ, 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 КЗ и ХХ 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 КЗ вставляют в диодную камеру.

3.3.2. Зонд измерительной линии устанавливают в точку наблюдаемого на экране индикатора минимума стоячей волны напряжения (плоскость КЗ), 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 $f_{1в}$ и $f_{1л}$ в герцах на уровне по 3 дБ справа и слева от минимума стоячей волны.

3.3.5. Рассчитывают значение разности частот Δf_1 в герцах, по формуле

$$\Delta f_1 = f_{1в} - f_{1л}. \qquad (23)$$

3.3.6. Эквивалент ХХ 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 ХХ 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 $f_{2п}$ и $f_{2л}$ в герцах на уровне по 3 дБ справа и слева от минимума стоячей волны.

3.3.9. Рассчитывают разность частот Δf_2 в герцах по формуле

$$\Delta f_2 = f_{2п} - f_{2л}. \quad (24)$$

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 $f_{3п}$ и $f_{3л}$ в герцах на уровне по 3 дБ справа и слева от минимума стоячей волны соответственно.

3.4.1.4. Рассчитывают разность частот Δf_3 в герцах по формуле

$$\Delta f_3 = f_{3п} - f_{3л}. \quad (25)$$

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 $f_{4п}$ и $f_{4л}$ в герцах на уровне по 3 дБ справа и слева от минимума стоячей волны соответственно.

3.4.2.4. Рассчитывают разность частот Δf_4 в герцах по формуле

$$\Delta f_4 = f_{4п} - f_{4л}. \quad (26)$$

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 l_i (Δl_i) в миллиметрах, рассчитывают по формуле

$$\Delta l_i = \frac{\Delta f_i}{2 f_{in} \cdot f_{iл}} \cdot nc, \quad (27)$$

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;

Δf_i — значение, определяемое по пп. 3.3.5, 3.3.9, 3.4.1.4, 3.4.2.4;

f_{in}, f_{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

$$n=\frac{2lf}{c}, \qquad (28)$$

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 $3\cdot10^{11}$ мм/с.

3.5.2. Значения смещений минимума стоячей волны по напряжению относительно плоскости отсчета (l_1—l_2), (l_1—l_4), (l_3—l_1) рассчитывают по формуле

$$l_1-l_i(\text{или } l_3-l_1)=\frac{i-f_i}{20ff_i}\cdot nc, \qquad (29)$$

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

$$l_1-l_4=\frac{i-f_4}{20ff_4}\cdot nc+\frac{c}{4f}. \qquad (30)$$

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

3.6. Показатели точности измерений

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

Таблица 4

Пределы измерения значений $r_{пр}$, 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 значений $r_{обр}$, Ом	Значение емкости диода, 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
0,5—10	Менее 1,2 до 0,5 включ.	Св. 1,0 » 5,0 »	±25
0,5—10	» 0,5 » 0,05 »	Св. 5,0 » 10,0 »	±35

3.6.3. Погрешность измерения $R_{обр}$ находится в интервале ±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.

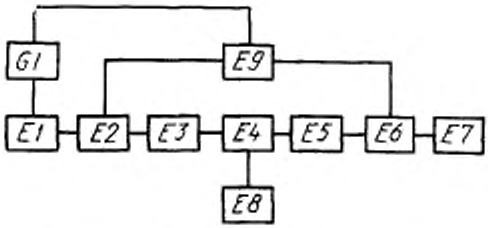
4.2.2. Элементы, входящие в структурную схему, должны удовлетворять следующим требованиям:

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*—ответвители направленные; *E3*, *E5*—вентили; *E4*—резонатор с проверяемым диодом; *E7*—нагрузка согласованная; *E8*—источник смещения; *E9*—индикатор КСВН и ослаблений

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_{1n}, $f_{1л}$ 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 ($Q_{КЗ}$) по формуле

$$Q_{КЗ} = \frac{f_1}{f_{1n} - f_{1л}}. \qquad (31)$$

4.3.4. Эквивалент ХХ вставляют в резонатор.

4.3.5. Измеряют резонансную частоту (f_2) в мегагерцах, характеристики и частоты $f_{2п}$, $f_{2л}$ 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 ($Q_{ХХ}$) по формуле

$$Q_{ХХ} = \frac{f_2}{f_{2п} - f_{2л}} . \qquad (32)$$

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

4.3.8. Определяют резонансную частоту ($f_р$) в мегагерцах, характеристики и частоты $f_{р.п}$, $f_{р.л}$ 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 $Q_{кр}$ по формуле

$$Q_{к.р} = \frac{f_р}{f_{р.п} - f_{р.л}} . \qquad (33)$$

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

$$K_{св} = \frac{r_{к.р}}{1/Q_{к.р} - 1/Q_{КЗ}} , \qquad (34)$$

где $r_{к.р}$ — 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_{C_1}), 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_{C_2}) в мегагерцах.

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

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

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 $f_{3п}$, $f_{3л}$ 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 $f_{4п}$, $f_{4л}$ 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 $r_{пр}$ рассчитывают по формуле

$$r_{пр} = K_{св}\left(\frac{1}{Q_{пр}} - \frac{1}{Q_{КЗ}}\right), \qquad (36)$$

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

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

$Q_{пр} = \frac{f_3}{f_{3п} - f_{3л}}$ — 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;

$f_{3п}, f_{3л}$ — 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 ($r_{обр}$) в омах рассчитывают по формуле

$$r_{обр} = \frac{C_0}{2\pi f_4 C_{стр}^2}\left(\frac{1}{Q_{обр}} - \frac{1}{Q_{XX}}\right), \qquad (37)$$

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;

$C_{стр}$ — 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;

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

$$Q_{обр} = \frac{f_4}{f_{4п} - f_{4л}}, \qquad (38)$$

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

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

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

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 1
Справочное

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ПРИ НИЗКОМ УРОВНЕ СВЧ МОЩНОСТИ

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

$$\delta r=K\sqrt{\left(\frac{A_1}{K_1}\delta Z_0\right)^2+\left(\frac{A_2}{K_2}\delta\lambda\right)^2+\left(\frac{A_3}{K_3}\delta\Delta l_1\right)^2+\left(\frac{A_4}{K_4}\delta\beta_1\right)^2+\ldots}$$
$$\ldots+\left(\frac{A_5}{K_5}\delta\Delta l_2\right)^2+\left(\frac{A_6}{K_6}2\beta_2\right)^2}. \qquad (40)$$

где δZ_0 — относительное отклонение значения z_0 от номинального значения;

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

$\delta\Delta l_1$ — погрешность определения значения ширины минимума коэффициента стоячей волны по напряжению при нагрузке диодной камеры на эквивалент XX;

$$\delta\Delta l_1=\frac{\Delta l}{\Delta l_1}\cdot 100\ \%;$$

Δl 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;

$$\delta\Delta l_2=\frac{\Delta l}{\Delta l_0}\cdot 100\%; \tag{41}$$

$$A_1=A_2=1;$$

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

$$A_4=2\beta_1\operatorname{ctg}\beta_1\frac{\Delta l_1\sin^2\beta_2}{\Delta l_2\sin^2\beta_1-\Delta l_1\sin^2\beta_2}; \tag{43}$$

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

$$A_6=2\beta_2\operatorname{ctg}\beta_2\frac{\Delta l_2\cdot\sin^2\beta_1}{\Delta l_2\cdot\sin^2\beta_1-\Delta l_1\sin^2\beta_2}; \tag{45}$$

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_{1-6} — 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);

$$\delta\beta_1=\sqrt{(\delta\lambda)^2+[\delta(l_{\text{по}}-l_1)]^2}; \tag{46}$$

$$\delta\beta_2=\sqrt{(\delta\lambda)^2+[\delta(l_{\text{по}}-l_2)]^2}; \tag{47}$$

где $\delta(l_{\text{по}}-l_1)$ — погрешность отсчета по линейке измерительной линии для определения β_1;

$$\delta(l_{\text{по}}-l_1)=\frac{\Delta(l_{\text{по}}-l_1)}{l_{\text{по}}-l_1}; \tag{48}$$

$\Delta(l_{\text{по}}-l_1)$ — абсолютная погрешность отсчета по линейке измерительной линии;

$\delta(l_{\text{по}}-l_2)$ — погрешность отсчета по линейке измерительной линии для определения β_2;

$$\delta(l_{\text{по}}-l_2)=\frac{\Delta(l_{\text{по}}-l_1)}{l_{\text{по}}-l_2}; \tag{49}$$

$\Delta(l_{\text{по}}-l_2)$ — 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 $r_{пр}$

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

где $$A_1=\frac{1}{r_{пр}}\left[r_{пр}+\frac{Z_0\pi\Delta l_1}{\lambda}\right], \tag{51}$$

$$A_2=\frac{Z_0\pi}{\lambda}\cdot\frac{\Delta l_1}{r_{пр}}\ , \tag{52}$$

$$\delta r_1=\sqrt{(\delta Z_0)^2+(\delta\lambda)^2+(\delta\Delta l_2)^2+\left[\frac{2\beta_2\operatorname{tg}\beta_1\delta\beta_2}{\sin^2\beta_2\cdot\left(1+\frac{\operatorname{tg}\beta_1}{\operatorname{tg}\beta_2}\right)}\right]+\left\{\left[\frac{2\beta_1}{\cos^2\beta_1\left(1+\frac{\operatorname{tg}\beta_1}{\operatorname{tg}\beta_2}\right)\operatorname{tg}\beta_2}-2\beta_1\operatorname{tg}\beta_1\right]\delta\beta_1\right\}^2}\ ; \tag{53}$$

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

$$\delta\beta_1=\sqrt{(\delta\lambda)^2+[\delta(l_n-l_1)]^2}\ ; \tag{55}$$

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

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 $r_{обр}$

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

где $A_1=A_2=1$; $A_3=2$; (58)

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

$$A_5=\frac{2\omega L}{\frac{1}{\omega C}-\omega L}\ ; \tag{60}$$

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

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

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

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

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

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

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);
$K_8=K_9=3{,}0$ (нормальный закон);
$K_4=K_5=1{,}96$ (нормальный закон).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Справочное

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

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

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

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 ($i=4$);

$\delta f_{iп}$, $\delta f_{iл}$ — 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;

$$\underset{[\text{или } \delta(l_3-l_1)]}{\delta(l_1-l_i)} = \sqrt{\left(\frac{f_1}{f_1-f_i}\delta f_1\right)^2+\left(\frac{f_i}{f_1-f_i}\delta f_i\right)^2+(\delta f_1)^2+(\delta f_i)^2}\ , \qquad (68)$$

где $i=2, 4$;

$\delta(l_1-l_i)$ — 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 ($i=4$);

$\delta(l_3-l_1)$ — погрешность определения смещения минимума стоячей волны по напряжению относительно плоскости отсчета при подаче на диод прямого тока смещения;

δf_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 СОПРОТИВЛЕНИЙ ПОТЕРЬ (РЕЗОНАТОРНЫЙ МЕТОД)

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

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

$$\delta r_{пр} = K\sqrt{\left(\frac{A_1}{K_1}\cdot\delta K_{св}\right)^2+\left(\frac{A_2}{K_2}\delta Q_{КЗ}\right)^2+\left(\frac{A_3}{K_3}\delta Q_{пр}\right)^2}\ , \qquad (69)$$

где $A_1=1$;

$$A_2=\frac{Q_{пр}}{Q_{КЗ}-Q_{пр}}\ ; \qquad (70)$$

$$A_3=\frac{Q_{КЗ}}{Q_{КЗ}-Q_{пр}}\ ; \qquad (71)$$

$$\delta K_{св}=\sqrt{(\delta r_{кр})^2+\left(\frac{Q_{кр}}{Q_{КЗ}-Q_{кр}}\cdot\delta Q_{КЗ}\right)^2+\left(\frac{Q_{КЗ}}{Q_{КЗ}-Q_{кр}}\cdot\delta Q_{кр}\right)^2}\ ; \qquad (72)$$

$$\underset{(\text{или } \delta Q_{пр},\delta Q_{кр})}{\delta Q_{КЗ}} = \sqrt{(\delta f_i)^2+\left(\frac{f_{iп}}{f_{iп}-f_{iл}}\cdot\delta f_{iп}\right)^2+\left(\frac{f_{iл}}{f_{iп}-f_{iл}}\cdot\delta f_{iл}\right)^2}\ ; \qquad (73)$$

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

δf_i — погрешность измерения частот точек резонансных характеристик резонатора в режиме прямого смещения на диоде для $Q_{пр}$ ($i=3$); при эквиваленте КЗ, включенном в резонатор для $Q_{КЗ}$ ($i=1$), при калибровочном резисторе, включенном в резонатор $Q_{кр}$ ($i=P$), 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 $r_{обр}$ рассчитывают по формуле

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

где $B_1=\dfrac{Q_{обр}}{Q_{XX}-Q_{обр}}$; (75)

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

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

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

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

$$\delta Q_{XX}=\sqrt{(\delta f_3)^2+\left(\frac{f_{2n}}{f_{2n}-f_{2л}}\right)^2+(\delta f_{2n})^2+\left(\frac{f_{2л}}{f_{2n}-f_{2л}}\cdot\delta f_{2л}\right)^2}; \quad (79)$$

$$\delta Q_{обр}=\sqrt{(\delta f_4)^2+\left(\frac{f_{4n}}{f_{4n}-f_{4л}}\cdot\delta f_{4n}\right)^2+\left(\frac{f_{4л}}{f_{4n}-f_{4л}}\cdot\delta f_{4л}\right)^2}; \quad (80)$$

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

$\delta f_{C_1}, \delta f_{C_2}$ — погрешности измерения емкостей калибровочных конденсаторов, определяемые в соответствии с ГОСТ 18986.4—73;

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

$K_1=K_2=K_5=1{,}73$ (равномерный закон);

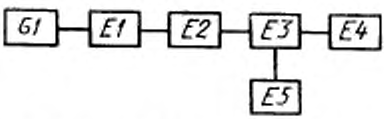
$K_3=K_4=1{,}96$ (нормальный закон).

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 ферритовый; *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 $0{,}75\ U_{max}$.

При недостаточной полосе 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 НТД, 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*

Подп. в печ 09.12.88 1,5 усл. п. л. 1,63 усл. кр.-отт 1,50 уч.-изд. л. Тир. 6000 Цена 10 коп.

gost.e-ecolog.ru

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3.
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 2432