УДК 621.382.2.029.6.08 : 006.354 Группа Э29

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

ДИОДЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СВЧ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ И УМНОЖИТЕЛЬНЫЕ

Методы измерения постоянной времени и предельной частоты

Semiconductor microwave varactors and multiplier diodes. Methods of measuring time constant and limiting frequency

ГОСТ 19656.9—79

Взамен ГОСТ 19656.9—74

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 11 сентября 1979 г. № 3457 срок действия установлен

с 01.01.81
до 01.01.86

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт распространяется на полупроводниковые СВЧ параметрические и умножительные диоды (далее — диоды) и устанавливает следующие методы измерения постоянной времени и предельной частоты: τ, $f_{пред}$:

метод четырехполюсника;

метод последовательного резонанса диода;

резонаторный метод.

Методы измерения постоянной времени и предельной частоты диода учитывают потери в измерительной диодной камере.

Общие условия должны соответствовать ГОСТ 19656.0—74.

1. МЕТОД ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

1.1. Принцип и условия измерений

1.1.1. Постоянная времени или предельная частота диода должна определяться из измерения входного комплексного сопротивления измерительной камеры с включенным диодом с учетом коэффициентов пассивного линейного четырехполюсника, которые находят с помощью эквивалентов холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ).

1.1.2. СВЧ-мощность P_0, частота измерений f_0, напряжение смещения $U_{см}$, при которых производят измерения, должны приводиться в стандартах и технических условиях на диоды конкретных типов.

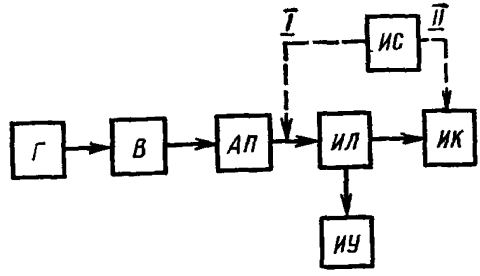
Издание официальное ★ Перепечатка воспрещена

Переиздание. Октябрь 1984 г.

gost.e-ecolog.ru

1.2. Аппаратура

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



Г—генератор СВЧ мощности; *В*—ферритовый вентиль, *АП*—переменный аттенюатор; *ИЛ*—измерительная линия; *ИУ*—измерительный усилитель; *ИК*—измерительная камера; *ИС*—источник напряжения смещения (варианты I, II подачи напряжения смещения определяются конструкцией измерительной камеры)

Черт. 1

1.2.2. Эквивалентом ХХ является корпус диода, в котором полупроводниковая структура не подсоединена к выводу диода или отсутствует.

Эквивалентом КЗ является корпус диода, в котором осуществлено короткое замыкание в месте установки полупроводниковой структуры без изменения внутренней геометрии корпуса.

Эквиваленты ХХ и КЗ выполняются в соответствии со стандартами и техническими условиями на диоды конкретных типов.

1.2.3. Измерительная линия должна иметь абсолютную погрешность отсчета положения зонда не более $0{,}001\ \lambda_0$, где λ_0 — длина волны в линии передачи в мм, на которой производят измерение.

1.2.4. Источник напряжения смещения должен удовлетворять следующим требованиям:

обеспечивать плавную установку и поддержание заданного напряжения смещения с погрешностью в пределах $\pm 2\%$;

коэффициент пульсации напряжения смещения при токе нагрузки до 10 мА не должен превышать 0,1%.

1.2.5. Измерительный усилитель должен иметь чувствительность по напряжению не более 10 мкВ.

1.2.6. Измерительная камера в зависимости от диапазона частот должна обеспечивать коэффициент стоячей волны по напряжению ($K_{\text{ст}U}$) с эквивалентами ХХ и КЗ:

Диапазон частот измерения, ГГц	$K_{стU}$, не менее
40—80	20
20—40	30
10—20	50
5—10	80
менее 5	100

$K_{стU}$ камеры с измеряемым диодом не менее 1,2 при заданном напряжении смещения.

Измерение $K_{стU}$ производят методом удвоенного минимума в соответствии с рекомендуемым приложением 1.

1.3. Подготовка и проведение измерений

1.3.1. Устанавливают заданный режим измерений по частоте f_0 и мощности P_0.

1.3.2. Находят положение минимума стоячей волны с эквивалентом ХХ — l_{XX} в мм и измеряют $K_{стU_{XX}}$.

Находят положение плоскости отсчета $l_{п.о}$ в мм по формуле

$$l_{п.о}=l_{XX}\pm\frac{\lambda_0}{4}. \qquad (1)$$

1.3.3. Находят положение минимума стоячей волны с эквивалентом КЗ, ближайшее к плоскости отсчета, и измеряют расстояние до плоскости отсчета $l_{КЗ}$ в мм и $K_{стU_{КЗ}}$.

Определяют угол сдвига минимума стоячей волны по напряжению $|\varphi_1|$ относительно плоскости отсчета при напряжении $U_{см1}$

$$|\varphi_1|=\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot|l_{min}|,$$

где l_{min}, мм.

Если $|\varphi_1|>45°$, то проводят дополнительные измерения при $U_{см2}$, при котором $|\varphi_2|<45°$.

1.4. Обработка результатов

1.4.1. Определяют постоянную времени диода τ в секундах по одной из формул:

при $|\varphi_1|\leqslant 45°$

$$\tau=\frac{\dfrac{1}{K_{стU}}-\dfrac{1+(R_{пос}\cdot K_{стU_{XX}}-1)\cdot\cos^2\left(\dfrac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{min}\right)}{K_{стU_{XX}}}}{2\pi f_0\cdot\cos^2\left(\dfrac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{min}\right)\left[\operatorname{tg}\left(\dfrac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{КЗ}\right)-\operatorname{tg}\left(\dfrac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{min}\right)\right]}, \qquad (2)$$

где f_0 — частота измерений, Гц;

$R_{пос}$ — расчетная величина, определяемая по формуле

$$R_{\text{пос}}=\frac{1}{K_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}\cdot\cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)\cdot\left[1+\frac{\text{tg}^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)}{K^2_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}}\right]-\frac{\text{tg}^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)}{K_{\text{ст}U_{XX}}}}; \quad (3)$$

при $45°\leqslant|\varphi_1|\leqslant 80°$

$|\varphi_2|\leqslant 45°$

$$\tau=\frac{\frac{1}{K_{\text{ст}U_2}}-\frac{1+(R_{\text{пос}}\cdot K_{\text{ст}U_{XX}}-1)\cdot\cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\min_2}\right)}{K_{\text{ст}U_{XX}}}}{2\pi f_0\cdot\cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\min_2}\right)\cdot\left[\text{tg}\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)-\text{tg}\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\min_1}\right)\right]}, \quad (4)$$

где $K_{\text{ст}U_1}$ $K_{\text{ст}U_2}$ — коэффициенты стоячей волны по напряжению при напряжении смещения $U_{\text{см}_1}$ $U_{\text{см}_2}$ соответственно;

$l_{\min_1}$, $l_{\min_2}$ — расстояния от плоскости отсчета до положения минимума стоячей волны по напряжению при $U_{\text{см}_1}$ и $U_{\text{см}_2}$ соответственно, мм;

при $|\varphi_1|>80°$ и $|\varphi_2|\leqslant 45°$

$$\tau=\frac{q\left[\frac{1}{K_{\text{ст}U_2}}-\frac{1+(R_{\text{пос}}\cdot K_{\text{ст}U_{XX}}-1)\cdot\cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\min_2}\right)}{K_{\text{ст}U_{XX}}}\right]}{2\pi f_0\cdot\cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\min_2}\right)\left[\text{tg}\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)-\text{tg}\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\min_2}\right)\right]}, \quad (5)$$

где $q=\frac{C_{\text{пер}_1}}{C_{\text{пер}_2}}$ — отношение емкостей перехода при смещении $U_{\text{см}_1}$ и $U_{\text{см}_2}$ соответственно;

$C_{\text{пер}_1}$, $C_{\text{пер}_2}$ — емкость перехода при смещении $U_{\text{см}_1}$ и $U_{\text{см}_2}$, измеренная по ГОСТ 18986.4—73, Ф,

$U_{\text{см}_1}$ и $U_{\text{см}_2}$ — приводят в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

1.4.2. Предельную частоту $f_{\text{пред}}$ диода в Гц определяют по формуле

$$f_{\text{пред}}=\frac{1}{2\pi\tau}. \quad (6)$$

1.5. Погрешность измерения постоянной времени и предельной частоты должна быть в пределах ±15% с доверительной вероятностью $P^*=0{,}997$ и определяется по формулам (1) и (2) справочного приложения 2.

2. МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РЕЗОНАНСА ДИОДА

2.1. Принцип и условия измерений

2.1.1. Постоянная времени или предельная частота на частоте последовательного резонанса диода должна определяться:

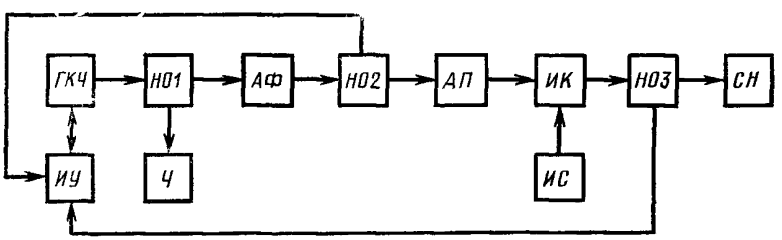
измерением частот f_1 и f_2 амплитудно-частотной характеристики измерительной камеры с диодом, на которых мощность в А раз больше, чем на резонансной частоте;

измерением ослабления T измерительной камеры с диодом на резонансной частоте $f_{кд}$ и измерением ослабления $T_п$ измерительной камеры без диода на той же частоте.

2.1.2. СВЧ-мощность P_0, частота измерений $f_{кд}$, напряжение смещения $U_{см}$, при которых производят измерения, должны приводиться в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

2.2. Аппаратура

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



ГКЧ—генератор качающейся частоты; *ИУ*—индикаторное устройство; *НО1, НО2, НО3*—направленные ответвители; *АФ*—фиксированный аттенюатор; *Ч*—частотомер; *АП*—переменный аттенюатор; *ИК*—измерительная камера; *ИС*—источник напряжения смещения; *СН*—согласованная нагрузка

Черт. 2

2.2.2. Генератор ГКЧ и индикаторное устройство ИУ, входящие в состав автоматического измерителя $K_{см}U$, и ослабления, должны удовлетворять ГОСТ 16423—78.

2.2.3. Погрешность измерения частоты частотомером *Ч* должна быть в пределах ±0,01% — при измерении полосы частот f_1, f_2 и не более 0,5% — при измерении ослабления T.

2.2.4. Направленные ответвители *НО1*, *НО2*, *НО3* должны отвечать следующим требованиям:

направленность не менее 25 дБ;

переходное ослабление должно быть в пределах 10—30 дБ;

$K_{ст U}$ входа и выхода не более 1,15.

2.2.5. Аттенюатор *АФ* должен иметь ослабление в пределах 5—10 дБ и $K_{ст U}$ не более 1,2.

2.2.6. Переменный аттенюатор *АП* должен иметь пределы изменения ослабления 0—40 дБ с погрешностью установки ослабления $(0{,}15 \pm 0{,}005T)$, где T — вводимое ослабление в дБ, $K_{ст U}$ аттенюатора не более 1,25.

2.2.7. Источник напряжения смещения *ИС* должен удовлетворять требованиям п. 1.2.3.

2.2.8. Согласованная нагрузка *СН* должна иметь $K_{ст U}$ не более 1,1 в полосе резонансных частот измеряемых диодов.

2.2.9. Измерительная камера *ИК* при измерении полосы частот $f_1 f_2$ должна удовлетворять следующим требованиям:

высота волновода в плоскости включения измеряемого диода должна быть равна высоте корпуса диода. В случае коаксиальной линии расстояние между внутренним и внешним проводниками должно быть равно высоте корпуса диода;

$K_{ст U}$ камеры в полосе резонансных частот должен быть не более 1,2;

камера должна обеспечивать подачу на диод постоянного напряжения смещения;

значение измеряемого сигнала на частоте последовательного резонанса должно превышать уровень помех не менее чем на 3 дБ;

ослабление камеры с диодом на частоте последовательного резонанса должно быть не менее 6 дБ.

2.2.10. Измерительная камера *ИК* при измерении ослабления T должна удовлетворять следующим требованиям:

камера в плоскости включения диода должна иметь волновое сопротивление Z_0, которое указывается в стандартах или технических условиях на измерительную установку;

камера должна иметь элементы настройки, позволяющие осуществить последовательный резонанс камеры с диодом и без диода на частоте $f_{кд}$, заданной в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов;

$K_{ст U}$ камеры на частоте $f_{кд}$ — не более 1,06 при условиях, исключающих влияние элементов настройки.

Камера должна обеспечивать выполнение условия

$$T_п \geqslant 10T.$$

2.3. Подготовка и проведение измерений

2.3.1. Устанавливают заданный режим измерений по мощности P_0 и частоте.

2.3.2. Калибруют генератор качающейся частоты и индикаторное устройство по ослаблению в соответствии с нормативно-технической документацией.

2.3.3. Устанавливают в измерительную камеру диод и подают напряжение смещения $U_{см}$. Настраивают генератор качающейся частоты на резонансную частоту.

2.3.4. При измерении полосы частот расстраивают генератор в режиме ручной перестройки частоты в сторону верхних частот и измеряют частоту f_2, на которой мощность на выходе измерительной камеры измеряется в A раз по сравнению с мощностью в минимуме резонансной характеристики. Аналогично при расстройке в сторону нижних частот измеряют частоту f_1. Уровень A отсчитывают по индикаторному устройству или аттенюатору $АП$.

2.3.5. При измерении ослабления настраивают измерительную камеру с диодом в резонанс на частоте $f_{кд}$ и измеряют ослабление T в минимуме резонансной характеристики. Извлекают диод из камеры и настраивают измерительную камеру без диода в резонанс на частоте $f_{кд}$ и измеряют ослабление $T_п$ в минимуме резонансной характеристики.

2.4. Обработка результатов

2.4.1. Предельную частоту $f_{пред}$ в Гц при измерении по п. 2.3.4 определяют по формуле

$$f_{пред}=\frac{f_1 \cdot f_2 \sqrt{A-1}}{f_2-f_1}, \qquad (7)$$

где f_1, f_2 — измеренные частоты, Гц;

A — уровень, показывающий, во сколько раз изменена мощность на выходе измерительной камеры при расстройке генератора до частот f_1 и f_2 по сравнению с мощностью на частоте последовательного резонанса диода.

2.4.2. Предельную частоту при измерении по п. 2.3.5 определяют по формуле

$$f_{пред}=\frac{\frac{C_{пер}}{C_{кон}}}{\pi Z_0 \cdot C_{кон}\left(1+\frac{C_{пер}}{C_{кон}}-4f_{кд}^2\,\pi^2 L_{пос} C_{пер}\right)^2\left(\frac{1}{\sqrt{T-1}}-\frac{1}{\sqrt{T_п-1}}\right)}, \qquad (8)$$

где Z_0 — волновое сопротивление камеры в плоскости включения диода, Ом;

$C_{пер}$ — емкость перехода диода при заданном напряжении смещения, измеренная по ГОСТ 18986.4—73, Ф;

$C_{кон}$ — конструктивная емкость диода указывается в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов, Ф;

$L_{пос}$ — последовательная индуктивность диода указывается в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов, Гн;

T, $T_{дБ}$ — ослабления, измеренные по п. 2.3.4, в разах;

$f_{кд}$ — частота измерения, заданная в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов, Гц.

2.4.3. Постоянную времени τ в секундах определяют по формуле

$$\tau = \frac{1}{2\pi f_{пред}}. \qquad (9)$$

2.5. Погрешность измерения постоянной времени и предельной частоты должна быть в пределах $\pm 15\%$ с доверительной вероятностью $P^* = 0{,}997$ и определяется по формулам (3), (4) справочного приложения 2.

3. РЕЗОНАТОРНЫЙ МЕТОД

3.1. Принцип и условия измерений

3.1. Постоянную времени или предельную частоту диода следует определять измерением резонансной частоты камеры с диодом $f_{кд}$, частот f_1 и f_2 на которых мощность на выходе камеры изменяется в A раз по сравнению с мощностью на частоте резонанса.

3.1.2. СВЧ-мощность P_0, диапазон резонансных частот напряжение смещения $U_{см}$, при которых производят измерения, должны приводиться в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов.

3.1.3. Частота измерений $f_{кд}$ должна удовлетворять условиям

$$f_{кд} \leqslant 0{,}9 f_0; \quad f_{кд} \leqslant 0{,}25 f_p; \quad \frac{c}{f_{кд}} \geqslant 10h,$$

где $f_{кд}$ — резонансная частота измерительной камеры с диодом, Гц;

f_0 — резонансная частота измерительной камеры без диода, Гц;

f_p — частота последовательного резонанса, Гц;

c — скорость света, мм/с;

h — высота корпуса диода, мм.

3.2. Аппаратура

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

3.2.2. Элементы структурной схемы должны удовлетворять требованиям пп. 2.2.2—2.2.7.

3.2.3. Детекторная секция *ДС* должна иметь $K_{стU}$ не более 2 в диапазоне рабочих частот.

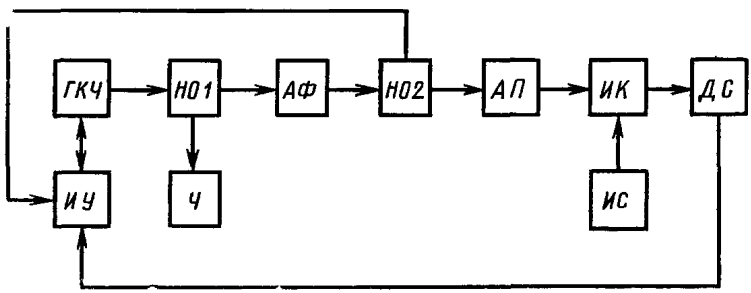
3.2.4. Измерительная камера *ИК* должна удовлетворять следующим требованиям:

обеспечивать подачу на диод постоянного напряжения смещения;

высота промежутка, в который помещают диод, должна быть равна высоте корпуса диода;

полоса пропускания камеры с диодом должна более чем в 3 раза превышать полосу пропускания камеру без диода, настроенной на ту же резонансную частоту с помощью подстроечных элементов;

значение измеряемого сигнала на резонансной частоте должно превышать уровень помех не менее чем на 3 дБ.



ГКЧ—генератор качающейся частоты; *ИУ*—индикаторное устройство, *НО1*, *НО2*—направленные ответвители, АФ—фиксированный аттенюатор, *Ч*—частотомер, *АП*—переменный аттенюатор; *ИК*—измерительная камера, *ИС*—источник напряжения смещения; *ДС*—детекторная секция

Черт. 3

3.3. Подготовка и проведение измерений

3.3.1. Устанавливают заданный режим измерений по мощности и частоте.

3.3.2. Калибруют генератор качающейся частоты и индикаторное устройство по ослаблению. Конкретный порядок калибровки должен приводиться в стандартах или технических условиях на измерительную установку.

3.3.3. Устанавливают в измерительную камеру диод и подают напряжение смещения $U_{см}$.

Настраивают генератор качающейся частоты на резонансную частоту и измеряют частоту $f_{кд}$.

Расстраивают генератор качающейся частоты в сторону верхних частот и измеряют частоту f_2, на которой мощность на выходе измерительной камеры изменяется в A раз по сравнению с мощностью на резонансной частоте камеры с диодом. Аналогично при расстройке генератора качающейся частоты в сторону ниж-

них частот измеряют частоту f_1. Значение A отсчитывают по индикаторному устройству и аттенюатору $АП$. Определяют полосу частот в Гц по формуле

$$2\Delta f_{кд}=f_2-f_1.$$

3.4. Обработка результатов

3.4.1. Предельную частоту диода $f_{пред}$ в Гц определяют по формуле

$$f_{пред}=\frac{\left(1-\frac{f_{кд}^2}{f_0^2}\right)\cdot\sqrt{A-1\cdot f_{кд}^2}}{(1-4\pi^2 f_{кд}^2\cdot L_{пос}\,C_{пер})\left[1+\frac{C_{кон}}{C_{пер}}(1-4\pi^2 f_{кд}^2\cdot L_{пос}\cdot C_{пер})\right](2\Delta f_{кд}-2\Delta f_к)}, \quad (10)$$

где f_0 — резонансная частота камеры без диода определяется при аттестации измерительной камеры, Гц;

$L_{пос}$ — последовательная индуктивность диода указывается в стандартах или технических условиях на диоды конкретных типов, Гн;

$C_{кон}$ — конструктивная емкость диода указывается в стандартах и технических условиях на диоды конкретных типов, Ф;

$C_{пер}$ — емкость перехода диода при заданном напряжении смещении измеряется по ГОСТ 18986.4—73, Ф;

$2\Delta f_к$ — полоса частот измерительной камеры без диода, настроенной на частоту $f_{кд}$ с помощью подстроечных элементов. Определение $2\Delta f_к$ в Гц производится методом, аналогичным изложенному в п. 3.3.3.

3.4.2. Постоянную времени диода определяют в соответствии с п. 2.4.3.

3.5. Показатели точности измерения

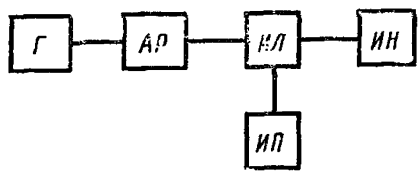
3.5.1. Погрешность измерения постоянной времени и предельной частоты должна быть в пределах ±15% с доверительной вероятностью $P^*=0{,}997$ и определяется по формуле (5) справочного приложения 2.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Рекомендуемое

ИЗМЕРЕНИЕ $K_{ст\ U}$ МЕТОДОМ УДВОЕННОГО МИНИМУМА

1. Для измерения больших $K_{ст\ U}$ может быть использован метод «удвоенного минимума», основанный на измерении поля вблизи минимума стоячей волны напряжения.

2. Измерение производится на установке, электрическая структурная схема которой приведена на черт. 1.



Г—генератор СВЧ мощности; *АР*—аттенюатор развязывающий; *ИЛ*—измерительная линия; *ИН*—измеряемая нагрузка; *ИП*—индикаторный прибор

Черт. 1

3. Измерение производят следующим образом:

установить каретку измерительной линии (зонд) в минимум напряженности поля стоячей волны;

определить расстояние Δl между двумя положениями зонда по обе стороны минимума U_{min}, в которых показания индикатора в два раза больше показания индикатора в минимуме U_1 (черт. 2);

вычислить $K_{ст\ U}$ по формуле

$$K_{стU}=\sqrt{1+\frac{1}{\sin^2\frac{\pi\Delta l}{\lambda_0}}}, \qquad (1)$$

где Δl — расстояние между двумя положениями зонда, мм;

λ_0 — длина волны в линии передачи, на которой производят измерение, мм.

При $\frac{\pi\Delta l}{\lambda_0}<0{,}12$ и квадратичности детектора линии формулу (1) можно заменить более простой формулой

$$K_{стU}=\frac{\lambda_0}{\pi\Delta l}. \qquad (2)$$

При этом ошибка при вычислении не будет превышать 1%.

Относительную погрешность измерения $K_{ст\ U}$ методом удвоенного минимума можно определить по формуле

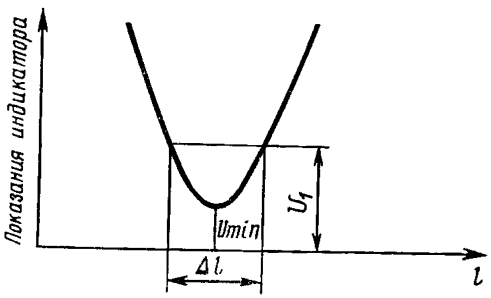
$$\delta K_{стU}=\sqrt{(a\cdot\delta m)^2+(b\cdot\delta\Delta l)^2+(b\cdot\delta\lambda_0)^2}, \qquad (3)$$

где

$$a=\frac{m^2}{m_2-\cos^2\left(\frac{\pi}{\lambda_0}\Delta l\right)}; \qquad (4)$$

$$b=\frac{\operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{\lambda_0}\Delta l\right)}{1+\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda_0}\Delta l\right)}\cdot\left(\frac{\pi}{\lambda_0}\Delta l\right); \qquad (5)$$

δm — относительная погрешность измерения отношения напряжений;
$\delta\Delta l$ — относительная погрешность измерения расстояния между двумя положениями зонда;
$\delta\lambda_0$ — относительная погрешность измерения длины волны в линии.



Черт. 2

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ И ПРЕДЕЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ

1. Метод четырехполюсника

1.1. Погрешность измерения постоянной времени, определяемой по формулам (2) и (4) настоящего стандарта, рассчитывается по формуле

$$\delta\tau=\sqrt{\left(\frac{K_{\text{ст}U_{XX}}}{A}\cdot\delta K_{\text{ст}U}\right)^2+(m\delta K_{\text{ст}U_{XX}})^2+(n\delta R_{\text{пос}})^2+}$$
$$\overline{+(p\delta l_{\min})^2+\delta f^2+(\gamma\delta l_{\text{КЗ}})^2}, \qquad (1)$$

где A, m, n, p, γ — определяют по формулам

$$A=K_{\text{ст}U_{XX}}-K_{\text{ст}U}\left[1+(R_{\text{пос}}\cdot K_{\text{ст}U_{XX}}-1)\cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}l_{\min}\right)\right];$$

$$m=\frac{K_{\text{ст}U}\cdot\sin^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\min}\right)}{A};$$

$$n=\frac{K_{\text{ст}U}\cdot K_{\text{ст}U_{XX}}\cdot R_{\text{пос}}\cdot\cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\min}\right)}{A};$$

$$p=\frac{2\pi l_{\min}\left(K_{\text{ст}U}-K_{\text{ст}U_{XX}}\right)\sin\left(\frac{4\pi}{\lambda_0}l_{\min}\right)}{\lambda_0 A\cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}l_{\min}\right)}+$$

$$+\frac{2\pi l_{\min}}{\lambda_0\cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}l_{\min}\right)\left[\left(\operatorname{tg}\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}l_{\text{КЗ}}\right)-\operatorname{tg}\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}l_{\min}\right)\right)\right]};$$

$$\gamma=\frac{2\pi l_{\text{КЗ}}}{\lambda_0\cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}l_{\text{КЗ}}\right)\left[\operatorname{tg}\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}l_{\text{КЗ}}\right)-\operatorname{tg}\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}l_{\min}\right)\right]}.$$

$\delta l_{\min}$; $\delta l_{\text{КЗ}}$; δf; $\delta K_{\text{ст U}}$ — относительные погрешности соответствующих величин, обозначенных в соответствии с пп. 1.3.2—1.3.4 настоящего стандарта.

Погрешность $\Delta R_{\text{пос}}$ определяется по формуле

$$\delta R_{\text{пос}}=\sqrt{(L\cdot\delta K_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}})^2+(M\cdot\delta K_{\text{ст}U_{XX}})^2+(N\delta l_{\text{КЗ}})^2},$$

где L, M, N — определяются по формулам

$$L=\frac{\operatorname{tg}^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)-K^2_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}}{\operatorname{tg}^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)+K^2_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}}\cdot\frac{K_{\text{ст}U_{XX}}}{K_{\text{ст}U_{XX}}\cdot K_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}-\sin^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)}\cdot$$

$$\cdot\frac{K_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}}{\left[K^2_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}+\operatorname{tg}^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)\right]};$$

$$M=\frac{\left[K^2_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}+\operatorname{tg}^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)\right]\cdot\sin^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)}{K_{\text{ст}U_{XX}}\cdot K_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}-\sin^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)\left[K^2_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}+\operatorname{tg}^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)\right]};$$

$$N=\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\cdot\frac{\left[2\operatorname{tg}\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)\cdot\left[K^2_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}+\operatorname{tg}^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)-\frac{1}{\cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)}\right]\right.}{K^2_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}+\operatorname{tg}^2\cdot\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)}-$$

$$-\frac{\sin\left(\frac{4\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)\cdot\left[K^2_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}+\operatorname{tg}^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)\right]+2\cdot\operatorname{tg}^3\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)}{K_{\text{ст}U_{XX}}\cdot K_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}-\sin^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)\left[K^2_{\text{ст}U_{\text{КЗ}}}+\operatorname{tg}^2\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot l_{\text{КЗ}}\right)\right]}.$$

где $\delta K_{ст\,U_{XX}}$, $\delta K_{ст\,U_{КЗ}}$ — относительные погрешности измерения $K_{ст\,U_{XX}}$ и $K_{ст\,U_{КЗ}}$.

1.2. Погрешность измерения постоянной времени, определяемой по формуле (5) настоящего стандарта, рассчитывается по формуле

$$\delta\tau = \sqrt{\left(\frac{K_{ст U_{XX}}}{A}\cdot\delta K_{ст U}\right)^2 + (m\delta K_{ст U_{XX}})^2 + (n\delta R_{пос})^2 + (p\delta l_{min})^2 + \delta f^2 + \overline{+ (\gamma\delta l_{КЗ})^2 + \delta q^2}}, \quad (2)$$

где A; m; n; p; γ — определяются по формулам, указанным в п. 1.1 настоящего приложения.

Погрешность измерения δq определяется по формуле

$$\delta q = \sqrt{2(\delta C_{пер})^2},$$

где $\delta C_{пер}$ — относительная погрешность емкостей $C_{пер_1}$ и $C_{пер_2}$.

1.3. Пример расчета погрешности формул (1) и (2) настоящего приложения.

1.3.1. Исходные данные для расчета $\lambda_0=32$ мм; $\delta\lambda_0=0{,}5\%$; $l_{КЗ}=4{,}3$ мм; $\delta l_{КЗ}=0{,}745\%$; $K_{ст\,U_{КЗ}}=80$ ($\Delta l_{КЗ}=0{,}127$ мм; $\delta\Delta l_{КЗ}=25{,}2\%$); $K_{ст\,U_{XX}}=80$ ($\Delta l_{XX}=0{,}127$ мм; $\delta\Delta l_{XX}=25{,}2\%$); $\delta m=1{,}5\%$; $l_{min}=3{,}2$ мм; $\delta l_{min}=1\%$, $K_{ст\,U}=15$ ($\Delta l=0{,}68$ мм; $\delta\Delta l=4{,}7\%$) $R_{пос}=0{,}0124$ Ом; $\delta q=7\%$.

1.3.2.

$$\delta K_{ст U_{КЗ}} = \delta K_{ст U_{XX}} = \sqrt{(2\cdot 1{,}5)^2 + 25{,}2^2 + 0{,}5^2} = 25{,}4\%;$$

$$\delta K_{ст U} = \sqrt{(2{,}0\cdot 1{,}5)^2 + 4{,}7^2 + 0{,}5^2} = 5{,}6\%;$$

$$\delta R_{пос} = \sqrt{(2{,}28\cdot 25{,}4)^2 + (1{,}28\cdot 25{,}4)^2 + (0{,}008\cdot 0{,}745)^2} = 66{,}5\%.$$

1.3.3. Подставляя полученные значения в формулу (1), получим

$$\delta\tau = \sqrt{\left(\frac{80}{65}\cdot 5{,}6\right)^2 + (0{,}08\cdot 25{,}4)^2 + (0{,}15\cdot 66{,}5)^2 + (1{,}49\cdot 1)^2 + 0{,}5^2 + (4{,}8\cdot 0{,}75)^2} = 12{,}9\%.$$

1.3.4. Подставляя полученные значения в формулу (2), получим

$$\delta\tau = \sqrt{\left(\frac{80}{65}\cdot 5{,}6\right)^2 + (0{,}08\cdot 25{,}4)^2 + (0{,}15\cdot 66{,}5)^2 + (1{,}49\cdot 1)^2 + 0{,}5^2 + (4{,}8\cdot 0{,}75)^2 + \overline{+ 7^2}} = 14{,}6\%.$$

2. Метод последовательного резонанса диода

2.1. Погрешность измерения предельной частоты, определяемой по формуле (7) настоящего стандарта, рассчитывается по формуле

$$\delta f_{пред} = \sqrt{\left(\delta f_1\cdot\frac{f_2}{f_2-f_1}\right)^2 + \left(\delta f_2\cdot\frac{f_1}{f_2-f_1}\right)^2 + \left[\delta A\cdot\frac{A}{2(A-1)}\right]^2}, \quad (3)$$

где δf_1; δf_2 — относительные погрешности измерения частоты частотомером, %;
δA — относительная погрешность измерения уровня А, %.

2.2. Погрешность измерения предельной частоты, определяемой по формуле (8) настоящего стандарта, рассчитывается по формуле

$$\delta f_{\text{пред}} = \sqrt{(a\cdot\delta C_{\text{пер}})^2+(b\cdot\delta C_{\text{кон}})^2+(\delta Z_0)^2+(c\cdot\delta T)^2+(d\cdot\delta T_{\text{п}})^2+(e\cdot\delta L_{\text{пос}})^2}, \quad (4)$$

где a; b; c; d; e — определяют по формулам

$$a=\frac{1-\frac{C_{\text{пер}}}{C_{\text{кон}}}+4\pi^2 f_{\text{кд}}^2\ L_{\text{пос}}\cdot C_{\text{пер}}}{1+\frac{C_{\text{пер}}}{C_{\text{кон}}}-4\pi^2 f_{\text{кд}}^2\ L_{\text{пос}}\cdot C_{\text{пер}}};$$

$$b=\frac{-2(1-4\pi^2 f_{\text{кд}}^2\cdot L_{\text{пос}}\cdot C_{\text{пер}})}{1+\frac{C_{\text{пер}}}{C_{\text{кон}}}-4\pi^2 f_{\text{кд}}^2 L_{\text{пос}}\cdot C_{\text{пер}}};$$

$$c=\frac{\sqrt{T}\,(\sqrt{T_{\text{п}}}-1)}{2\,(\sqrt{T}-1)\,(\sqrt{T_{\text{п}}}-\sqrt{T})};\quad d=-\frac{\sqrt{T_{\text{п}}}\,(\sqrt{T}-1)}{2\,(\sqrt{T_{\text{п}}}-1)\,(\sqrt{T_{\text{п}}}-\sqrt{T})};$$

$$e=\frac{-8\pi^2 f_{\text{кд}}^2\cdot L_{\text{пос}}\cdot C_{\text{пер}}}{1+\frac{C_{\text{пер}}}{C_{\text{кон}}}-4\pi^2 f_{\text{кд}}^2\cdot L_{\text{пос}}\cdot C_{\text{пер}}}.$$

$\delta f_{\text{пред}}$; $\delta C_{\text{пер}}$; $\delta C_{\text{кон}}$; δZ_0; δT; $\delta T_{\text{п}}$; $\delta L_{\text{пос}}$ — относительные погрешности соответствующих величин в процентах, обозначенных в п. 2.4.2.

Относительная погрешность измерения частоты мала по сравнению с остальными погрешностями и ею можно пренебречь.

2.3. Пример расчета погрешности

2.3.1. Исходные данные для расчета формулы (3):

$f_1=1920$ МГц; $f_2=1960$ МГц;

$\delta f_1=\delta f_2=\pm 0{,}01\%$;

$A=3{,}16$ раза (5 дБ);

$\delta A=\pm 15\%$ ($\pm 0{,}6$ дБ).

Подставляя приведенные данные в формулу (3), получим

$$\delta f_{\text{пред}}=\sqrt{\left(10^{-2}\cdot\frac{1960}{40}\right)^2+\left(10^{-2}\cdot\frac{1920}{40}\right)^2+\left[15\cdot\frac{3{,}16}{2(3{,}16-1)}\right]^2}=$$

$$=\sqrt{0{,}24+0{,}23+120}+\sqrt{120{,}47}=11\%.$$

2.3.2 Исходные данные для расчета по формуле (4):

$C_{\text{пер}}=2$ пФ; $\delta C_{\text{пер}}=5\%$;

$C_{\text{кон}}=0{,}4$ пФ; $\delta C_{\text{кон}}=5\%$;

$Z_0=20$ Ом; $\delta Z_0=5\%$;

$L_{\text{пос}}=0{,}2$ нГн; $\delta L_{\text{пос}}=35\%$;

$T=63$; $T_{\text{п}}=1000$;

$\delta T=10\%$; $\delta T_{\text{п}}=10\%$; $f=2$ ГГц.

Подставляя приведенные данные в формулу (4), получим

$$\delta f_{\text{пред}}=\sqrt{(0{,}66\cdot 5)^2+(0{,}297\cdot 5)^2+5^2+(0{,}75\cdot 10)^2+(0{,}3\cdot 10)^2+(0{,}022\cdot 35)^2}=$$

$$=10{,}2\%.$$

3. Резонаторный метод

3.1. Погрешность измерения предельной частоты, определяемой по формуле (10) настоящего стандарта, рассчитывается по формуле

$$\delta f_{\text{пред}} = \sqrt{(a\cdot\delta A)^2+(b\cdot\delta C_{\text{кон}})^2+(c\cdot\delta C_{\text{пер}})^2+[d\cdot\delta(2\Delta f_{\text{к}})]^2+[e\cdot\delta(2\Delta f_{\text{кд}})]^2}\ , \quad (5)$$

где a; b; c; d; e — определяют по формулам:

$$a=\frac{1}{2}\cdot\frac{A}{A-1}\ ;$$

$$b=\frac{C_{\text{кон}}}{C_{\text{пер}}+C_{\text{кон}}(1-4\pi^2 f_{\text{кд}}^2\cdot L_{\text{пос}}\cdot C_{\text{пер}})}\cdot(1-4\pi^2 f_{\text{кд}}^2 L_{\text{пос}}\cdot C_{\text{пер}})\ ;$$

$$c=(1-4\pi^2 f_{\text{кд}}^2\cdot L_{\text{пос}}\cdot C_{\text{пер}})\cdot\frac{C_{\text{кон}}}{C_{\text{пер}}+C_{\text{кон}}(1-4\pi^2 f_{\text{кд}}^2 L_{\text{пос}}\cdot C_{\text{пер}})}\ ;$$

$$d=\frac{2\Delta f_{\text{к}}}{2\Delta f_{\text{кд}}-2\Delta f_{\text{к}}}\ ;$$

$$e=\frac{2\Delta f_{\text{кд}}}{2\Delta f_{\text{кд}}-2\Delta f_{\text{к}}}\ ;$$

$\delta f_{\text{пред}}$; δA; $\delta C_{\text{кон}}$; $\delta C_{\text{пер}}$; $\delta(2\Delta f_{\text{кд}})$; $\delta(2\Delta f_{\text{к}})$ — относительные погрешности соответствующих величин в процентах, обозначенных в п. 3.4.1.

Погрешности, вносимые в формулу (5) за счет погрешностей измерения f_0; $f_{\text{кд}}$ и $L_{\text{пос}}$ малы по сравнению с остальными погрешностями и ими можно пренебречь.

3.2. Пример расчета погрешности

3.2.1. Исходные данные для расчета формулы (5)

$f_{\text{кд}}=1960$ МГц; $2\Delta f_{\text{кд}}=16$ МГц; $C_{\text{пер}}=0{,}8$ пФ;

$A=3{,}16$ раза (5 дБ); $2\Delta f_{\text{к}}=4$ МГц;

$f_0=2400$ МГц; $C_{\text{кон}}=0{,}2$ пФ; $L_{\text{пос}}=0{,}52$ нГн;

$\delta f_{\text{кд}}=\pm 10^{-2}\%$; $\delta A=\pm 15\%$ ($\pm 0{,}6$ дБ);

$\delta(2\Delta f_{\text{к}})=4{,}9\%$; $\delta(2\Delta f_{\text{кд}})=1{,}2\%$; $\delta C_{\text{пер}}=\delta C_{\text{кон}}=5\%$.

Подставляя полученные данные в формулу (5), получим

$$\delta f_{\text{пред}}=\sqrt{\left[\frac{3{,}16\cdot 15}{2(3{,}16-1)}\right]^2+\left[\frac{0{,}2\left(1-\frac{1{,}96^2}{7{,}84^2}\right)\cdot 5}{0{,}8+0{,}2\left(1-\frac{1{,}96^2}{7{,}84^2}\right)}\right]^2+}$$

$$+\left[\frac{0{,}2\left(1-\frac{1{,}96^2}{7{,}84^2}\right)\cdot 5}{0{,}8+0{,}2\left(1-\frac{1{,}96^2}{7{,}84^2}\right)}\right]^2+\left(\frac{4\cdot 4{,}9}{16-4}\right)^2+\left(\frac{16\cdot 1{,}2}{16-4}\right)^2}=\sqrt{127{,}89}=11{,}3\%\ .$$

Редактор *В. С. Бабкина*
Технический редактор *В. И. Тушева*
Корректор *В. М. Смирнова*

Сдано в наб. 08.08.84 Подп. в печ. 30.01.85 4,25 усл. п. л. 4,375 усл. кр.-отт. 4,18 уч.-изд. л.
Тир. 8000 Цена 20 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6. Зак. 818

Цена 20 коп.

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	русское
ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ			
Длина	метр	m	м
Масса	килограмм	kg	кг
Время	секунда	s	с
Сила электрического тока	ампер	A	А
Термодинамическая температура	кельвин	K	К
Количество вещества	моль	mol	моль
Сила света	кандела	cd	кд
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ			
Плоский угол	радиан	rad	рад
Телесный угол	стерадиан	sr	ср

ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ, ИМЕЮЩИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ

Величина	Единица			Выражение через основные и дополнительные единицы СИ
	Наименование	Обозначение		
		международное	русское	
Частота	герц	Hz	Гц	$с^{-1}$
Сила	ньютон	N	Н	$м \cdot кг \cdot с^{-2}$
Давление	паскаль	Pa	Па	$м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-2}$
Энергия	джоуль	J	Дж	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2}$
Мощность	ватт	W	Вт	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}$
Количество электричества	кулон	C	Кл	$с \cdot А$
Электрическое напряжение	вольт	V	В	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-1}$
Электрическая емкость	фарад	F	Ф	$м^{-2} \cdot кг^{-1} \cdot с^4 \cdot А^2$
Электрическое сопротивление	ом	Ω	Ом	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-2}$
Электрическая проводимость	сименс	S	См	$м^{-2} \cdot кг^{-1} \cdot с^3 \cdot А^2$
Поток магнитной индукции	вебер	Wb	Вб	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$
Магнитная индукция	тесла	T	Тл	$кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}$
Индуктивность	генри	H	Гн	$м^2 \cdot кг \cdot с \cdot А^{-2}$
Световой поток	люмен	lm	лм	кд · ср
Освещенность	люкс	lx	лк	$м^{-2} \cdot кд \cdot ср$
Активность радионуклида	беккерель	Bq	Бк	$с^{-1}$
Поглощенная доза	грэй	Gy	Гр	$м^2 \cdot с^{-2}$
[illegible]его излучения				
Эквивалентная доза излучения	зиверт	Sv	Зв	$м^2 \cdot с^{-2}$

gost.e-ecolog.ru