



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ  
СОЮЗА ССР

---

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

**ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ  
ПРОНИЦАЕМОСТЬ И ТАНГЕНС УГЛА  
ПОТЕРЬ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ**

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ В ДИАПАЗОНЕ  
ЧАСТОТ  $10^3$ — $10^{10}$  Гц

**ГОСТ 8.544—86**

Издание официальное



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ  
Москва

**РАЗРАБОТАН** Государственным комитетом СССР по стандартам  
**ИСПОЛНИТЕЛИ**

В. А. Валенкевич (руководитель темы); С. К. Артамонова; Т. В. Острошок

**ВНЕСЕН** Государственным комитетом СССР по стандартам

Член Госстандарта Л. К. Исаев

**УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ** Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 31 марта 1986 г. № 845

Государственная система обеспечения

единства измерений

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ  
ПРОНИЦАЕМОСТЬ И ТАНГЕНС УГЛА ПОТЕРЬ  
ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Методика выполнения измерений

в диапазоне частот  $10^9$ — $10^{10}$  ГцState system for ensuring the uniformity  
of measurements. Relative dielectric permittivity  
and the loss tangent of solid dielectricsProcedure of measurement — ments from  $10^9$  to  $10^{10}$  Hz

ОКСТУ 0008

ГОСТ  
8.544—86

Взамен

ГОСТ 12723—67,

МИ 367—83

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 31 марта  
1986 г. № 845 срок введения установлен

с 01.01.87

Настоящий стандарт устанавливает методики выполнения измерений относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  твердых диэлектриков:

с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  от 1,5 до 200 и тангенсом угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-2}$  в диапазоне частот  $9 \cdot 10^9$  —  $10^{10}$  Гц при использовании метода «вариаии длины резонатора»;

с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  от 2 до 40 и тангенсом угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  от  $5 \cdot 10^{-5}$  до  $1 \cdot 10^{-3}$  в диапазоне частот  $10^9$  —  $10^{10}$  Гц при использовании метода «вариаии частоты и типов колебаний».

Относительные погрешности измерения при доверительной вероятности 0,99 не должны превышать:

при использовании метода «вариаии длины резонатора»;

$\pm 1\%$  для  $\epsilon$  от 1,5 до 5;

$\pm 2\%$  для  $\epsilon$  от 5 до 20;

$\pm 3\%$  для  $\epsilon$  более 20;

$\pm (15 + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{\operatorname{tg} \delta})\%$  — для  $\operatorname{tg} \delta$ ;

произведение  $\epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$  — не более 0,2;

при использовании метода «вариаии частоты и типов колебаний»:  $\pm 0,3 \sqrt{\epsilon}\%$  — для  $\epsilon$ ;

$\pm (20 + \frac{10^{-3}}{\operatorname{tg} \delta})\%$  — для  $\operatorname{tg} \delta$ .

Издание официальное

Перепечатка воспрещена



© Издательство стандартов, 1986

## 1. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

1.1. При выполнении измерений должны быть применены следующие средства измерений:

генераторы СВЧ типов Г4—78, Г4—79, Г4—80, Г4—81, Г4—82, Г4—83, с диапазоном частот от 1,1 до 10,5 ГГц и нестабильностью частоты выходного сигнала за любые 15 мин работы, не превышающей  $3 \cdot 10^{-4}$ ;

частотомер электронно-счетный типа ЧЗ—54 с преобразователем ЯЗЧ-57 с диапазоном измеряемых частот 0,7—12 ГГц и относительной погрешностью измерения частоты синусоидальных сигналов, не превышающей  $\pm 5 \cdot 10^{-7}$ ;

аттенюатор волноводный поляризационный типа ДЗ—33А с погрешностью измерения, не превышающей  $\pm 0,1$  дБ;

детекторная головка типа Э7—6, КСВН не более 1,5;

ферритовые вентили типа Э6—44, КСВН не более 1,5;

микроамперметр типа М95 по ГОСТ 8711—60, класса точности 1,5;

анализатор спектра типа СЧ-27 с диапазоном частот 0,01—39,6 ГГц;

измерительные ячейки;

типа ОР-2М (справочное приложение 1);

типов ИЯМТ-1К, ИЯМТ-2К (справочное приложение 2);

прижимное устройство (справочное приложение 3).

Примечание. Допускается применять средства измерений, точность которых не менее указанной в стандарте.

## 2. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. Измерения относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  образцов, имеющих форму диска, следует выполнять методом «вариации длины резонатора» или методом «вариации частоты и типов колебаний».

2.2. Метод «вариации длины резонатора»

2.2.1. Метод определения относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  основан на измерении разности резонансных длин резонатора до и после помещения в резонатор образца диэлектрика при фиксированной частоте измерения. Для измерений должен быть применен круглый цилиндрический резонатор, в котором возбуждается магнитный тип колебаний  $H_{10}$ , где  $p$  — число полуволн, укладывающихся по длине резонатора, и оно может меняться от 2 до 5.

2.2.2. Метод определения тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  основан на измерении изменения интенсивности сигнала, проходящего через резонатор, при помещении в него образца диэлектрика.

### 2.3. Метод «вариацнн частоты и типов колебаний»

2.3.1. Метод измерения относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  основан на сравнении спектра резонансных частот резонатора до и после помещения образца диэлектрика. Для измерений должен быть применен цилиндрический резонатор, в котором возбуждается электрический тип колебаний  $E_{mlo}$ , где индексы  $m$  и  $l$  определяют азимутальное и радиальное распределение полей.

2.3.2. Метод измерения тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  основан на сравнении нагруженных добротностей пустого резонатора и резонатора с образцом диэлектрика.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

3.1. При выполнении измерений относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  должны быть соблюдены следующие требования безопасности:

к измерениям допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с электро- и СВЧ-радиоизмерительными приборами;

корпуса всех приборов, используемых при измерениях, должны быть заземлены;

в помещении, где проводят измерения, не должно быть газов и паров веществ, вызывающих коррозию металлических деталей;

отсоединять шины заземления, подключать или отключать межблочные и соединительные кабели следует только при выключенных приборах.

## 4. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. При выполнении измерений должны быть соблюдены следующие условия:

температура окружающей среды, °C	10—35
относительная влажность воздуха, %	80
атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	84—106,7 (630—800).

Изменение температуры в помещении за время измерений не должно превышать  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

## 5. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

5.1. При подготовке к выполнению измерений методом «вариацнн длины резонатора» должны быть проведены следующие работы:

собирают измерительную установку по схеме, приведенной на черт. 1;

все приборы, входящие в состав установки, подготавливают к работе в соответствии с технической документацией (далее — ТД) на них;

образцы твердых диэлектриков подготавливают к измерениям в соответствии с обязательным приложением 4;

генератор СВЧ настраивают на выбранную частоту диапазона, контроль частоты осуществляют по частотомеру;

измеряют постоянную связи  $\chi$  резонатора, входящего в состав измерительной ячейки ОР-2М;

поршень опускают вниз до упора и, плавно перемещая его вверх настраивают резонатор в резонанс, по лимбу микрометрической головки поршня с погрешностью  $\pm 0,1$  мм измеряют резонансную длину резонатора  $l_1$  и снимают показания миллиамперметра (индикатора выходного уровня)  $\alpha_1$ ;

затем от точки первого резонанса поршень перемещают дальше вверх до получения второго резонанса и измеряют  $l_2$  и  $\alpha_2$ ;

вычисляют постоянную связи резонатора  $\chi$

$$\chi = \frac{M}{\sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1}} - 2(M+1), \quad (1)$$

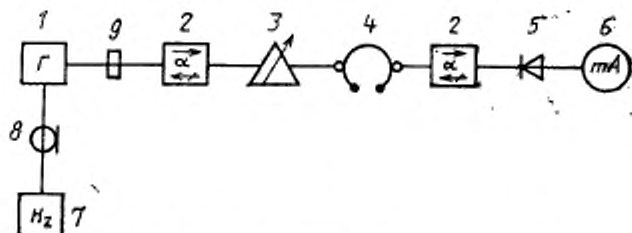
где  $M = 0,186 \left( \frac{\lambda_n}{R} \right)^3$ ;

$\lambda_n = 2(l_2 - l_1)$  — длина волны в резонаторе, мм;

$R$  — радиус резонатора, мм.

**Примечание.** Изменение частоты генератора за время измерений не должно превышать 100 кГц.

**Схема установки для измерения относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\tan \delta$  образцов методом «вариаии длины резонатора»**



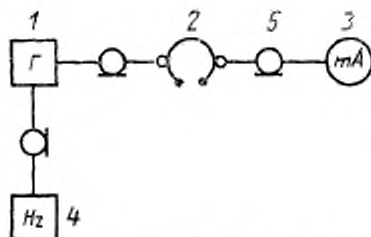
1—генератор СВЧ типа Г4—83; 2—ферритовый вентиль типа ЗБ—44; 3—полноволновый поляризационный attenuator типа ДЗ—33А; 4—измерительная ячейка типа ОР-2М; 5—детекторная головка типа ЗТ—6; 6—микроамперметр типа М56 (10 мкА); 7—электронно-счетный частотомер типа ЧЗ—54 с преобразователем типа ЯЗЧ-87; 8—контактный проводник; 9—волновод.

Черт. 1

5.2. При подготовке к выполнению измерений методом «вариации частоты и типов колебаний» должны быть проведены следующие работы:

собирают измерительную установку по схеме, приведенной на черт. 2.

Схема установки для измерения  
относительной диэлектрической  
проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла  
диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  образцов  
методом «вариации частоты  
и типов колебаний»



1—набор генераторов СВЧ типа Г4-78—Г4-83;  
2—измерительная ячейка типа ИЯМТ-1К или  
ИЯМТ-2К; 3—анализатор спектра типа С4-60  
или микроамперметр типа М85; 4—электронно-  
счетный частотомер типа ЧЗ-54 с преобразова-  
телем типа ЯЗЧ-87; 5—коаксиальный проводник

Черт. 2

**Примечание.** При измерении относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  от 2 до 4 в установку включают ячейку ИЯМТ-1К, относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  от 4 до 40 — ячейку ИЯМТ-2К;

все приборы, входящие в состав установки, подготавливают к работе в соответствии с ТД на них;

образцы твердого диэлектрика подготавливают к измерениям в соответствии с обязательным приложением 5.

## 6. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

6.1. При выполнении измерений относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  методом «вариации длины резонатора» должны быть выполнены следующие операции:

настраивают резонатор в резонанс (объем резонатора максимален);

измеряют резонансную длину резонатора без образца  $l_0$  с погрешностью  $\pm 0,01$  мм;

помещают в резонатор образец диэлектрика;

перемещают поршень резонатора плавно до настройки в резонанс;

измеряют резонансную длину резонатора с образцом  $l_e$  с погрешностью  $\pm 0,01$  мм;

вычисляют смещение  $\bar{L}$  по формуле

$$\bar{L} = l_0 - l_e. \quad (2)$$

Примечание. Измерения проводят не менее шести раз, поворачивая после каждого измерения образец вокруг оси на  $60^\circ$ ;

вычисляют среднее арифметическое из результатов измерений.

6.2. При выполнении измерений тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  должны быть выполнены следующие операции:

настраивают резонатор в резонанс;

устанавливают при помощи аттенюатора уровень сигнала на индикаторе выходного уровня; показания индикатора должны составлять не менее 50 % его шкалы;

отсчитывают введенное затухание  $A_0$  по шкале аттенюатора с погрешностью  $\pm 0,1$  дБ;

помещают в резонатор образец диэлектрика;

настраивают резонатор в резонанс, плавно перемещая поршень;

уменьшают ослабление, введенное аттенюатором, до тех пор, пока показания индикатора не станут такими же, как до введения образца;

отсчитывают показания аттенюатора  $A_e$  с погрешностью  $\pm 0,1$  дБ;

вычисляют ослабление, вносимое образцом диэлектрика в измерительный тракт по формуле

$$A = A_0 - A_e. \quad (3)$$

Примечание. Измерения проводят не менее шести раз, вычисляют среднее арифметическое из результатов измерений.

6.3. При выполнении измерений относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  методом «вариации частоты и типов колебаний» должны быть выполнены следующие операции:

помещают образец диэлектрика в измерительную ячейку, наложив на торцевые поверхности ячейки электроды из фольги, резиновые прокладки, крышки;

устанавливают ячейку на платформу прижимного устройства и создают давление на крышку ячейки не менее  $4 \cdot 10^4$  Н/м<sup>2</sup> (20 делений шкалы индикатора прижимного устройства);

включают ячейку в измерительную установку, подключив гене-



ратор, позволяющий проводить измерения на нижней частоте диапазона измерительной ячейки;

перестраивают частоту генератора, начиная с нижних частот до получения сигнала на индикаторе выходного уровня.

**Примечание.** Если в диапазоне частот генератора резонанса нет, применяют генератор следующего диапазона:

определяют резонансную частоту  $f_{\pi}$  по частотомеру, плавно перестраивая частоту генератора в области резонанса, с погрешностью  $\pm 0,5$  МГц;

измерения проводят не менее трех раз;

вычисляют среднее арифметическое, округляя результат до  $\pm 0,5$  МГц;

рассчитывают  $\varepsilon_n$  по формуле (4), полагая  $B_n = B_1$

$$\varepsilon_n = \left( \frac{B_n f_0}{B_1 f_{\pi}} \right)^2 \quad n=1, 2, \dots, \quad (4)$$

где  $f_0$  — резонансная частота пустой измерительной ячейки, соответствующая типу колебаний  $E_{010}$ , приведена в нормативно-технической документации на измерительную ячейку;

$B_n$  — значения корней функции Бесселя на соответствующих типах колебаний приведены в справочном приложении 6;

зная относительную диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon$ , рассчитывают последующие дискретные частоты диапазона измерительной ячейки, на которых возможно измерение, по формуле

$$f_{\varepsilon_n} = \frac{C \cdot B_n}{\pi D \sqrt{\varepsilon}} \quad (5)$$

где  $C$  — скорость света, мм/с;

$D$  — диаметр измерительной ячейки, мм, приведен в нормативно-технической документации на измерительную ячейку;

определяют резонансные частоты  $f$ , перестраивая частоту генератора в области резонанса, с погрешностью  $\pm 0,5$  МГц;

вычисляют среднее арифметическое из результатов измерений;

рассчитывают  $\varepsilon_n$  по формуле (4).

**Примечания:**

1. Измерения следует проводить только на тех частотах, в окрестности которых в пределах 20—30 МГц отсутствуют другие резонансы.

2. Если значение относительной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  перед началом измерений ориентировочно известно с погрешностью  $\Delta \varepsilon$ , диапазон перестройки частоты следует ограничить снизу частотой, рассчитанной по формуле (5), при  $B_n = B_1$  и  $\varepsilon = \varepsilon_{\text{нз}} + \Delta \varepsilon$ , где  $\varepsilon_{\text{нз}}$  — известное значение относительной диэлектрической проницаемости материала образца.

6.4. При выполнении измерений тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg} \delta$  методом «вариации частоты и типов колебаний» должны быть выполнены следующие операции:

измеряют резонансные частоты, соответствующие типам колебаний  $E_{\text{нз}}$ ,  $f_{\pi}$  (аналогично указанному в п. 6.3);

изменяя частоту генератора в большую и меньшую стороны от  $f_{\text{сн}}$ , определяют частоты  $f_1$  и  $f_2$ , при которых уровень сигнала по индикатору выходного уровня составляет половину уровня при частоте  $f_{\text{сн}}$ .

определяют частотную ширину резонансной кривой

$$\Delta f = |f_1 - f_2|; \quad (6)$$

измерения проводят не менее трех раз, вычисляя среднее арифметическое значение резонансной частоты  $\bar{f}_{\text{сн}}$  и ширины резонансной кривой  $\Delta \bar{f}$ , округляя результат до  $\pm 0,5$  МГц;

рассчитывают нагруженную добротность ячейки по формуле

$$Q_{\text{сн}} = \frac{\bar{f}_{\text{сн}}}{\Delta \bar{f}}, \quad (7)$$

а тангенс угла диэлектрических потерь по формуле

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{1,3Q_{\text{сн}}} - \frac{1}{Q_0} \sqrt{\frac{1}{\varepsilon} \frac{f_0}{f_{\text{сн}}}}, \quad (8)$$

где  $Q_0$  — нагруженная добротность пустого резонатора, приводится в нормативно-технической документации на ячейку;

1,3 — коэффициент добротности, определяется как отношение нагруженных добротностей резонатора, заполненного диэлектриком, с металлическими крышками и электродами из фольги.

## 7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

7.1. При использовании метода «вариации длины резонатора» относительную диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon$  вычисляют с точностью до трех значащих цифр по формуле

$$\varepsilon = \left( \frac{\lambda}{\lambda_{\text{кр}}} \right)^2 + \left( \frac{x\lambda}{2\pi d} \right)^2, \quad (9)$$

где  $\lambda_{\text{кр}} = 1,640 \cdot R$  — критическая длина волны, мм;

$R$  — радиус резонатора, мм;

$\lambda$  — длина волны на частоте измерения, мм;

$d$  — толщина образца диэлектрика, мм;

$x$  — безразмерная величина, определяемая уровнем

$$\frac{\operatorname{tg} x}{x} = \frac{\operatorname{tg} \beta_0 (L+d)}{\beta_0 d}, \quad (10)$$

где  $L$  — смещение, измеренное в п. 6.1, мм;

$\beta_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$  — фазовая постоянная,  $\text{мм}^{-1}$ ;

$\lambda_0$  — длина волны в резонаторе, измеренная по п. 5.1, мм.

7.2. При использовании метода «вариации длины резонатора»

тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  вычисляют с точностью до двух значащих цифр по формуле

$$\operatorname{tg} \delta = K_A (10^{\frac{A}{20}} - \eta), \quad (11)$$

где  $A$  — ослабление, вносимое образцом диэлектрика, измеренное по п. 6.2, дБ;

$$K_A = \frac{\Phi(x)}{e} \cdot \frac{l_0}{d} \cdot \frac{1}{Q_0}, \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{где} \quad \Phi(x) &= \frac{n^2 + \operatorname{tg}^2 x}{1 + \operatorname{tg}^2 x - \frac{\operatorname{tg} x}{x}}; \\ n^2 &= \left( \frac{x}{\beta_0 d} \right)^2; \end{aligned}$$

$l_0$  — резонансная длина резонатора без образца, мм;

$Q_0$  — нагруженная добротность резонатора без образца диэлектрика;

$d$  — толщина образца диэлектрика, мм.

$\eta$  вычисляют с точностью до двух-трех значащих цифр по формуле

$$\eta = \frac{1 + \frac{P_{\text{тор}}^e}{P_{\text{тор}}} + \frac{P_{\text{бок}}^e}{P_{\text{бок}}} + \chi}{2 + \frac{P_{\text{бок}}^e}{P_{\text{тор}}} + \chi}, \quad (13)$$

где  $P_{\text{тор}}^e$  — потери в торцевой стенке, к которой примыкает образец диэлектрика;

$P_{\text{тор}}$  — потери в противоположной торцевой стенке;

$P_{\text{бок}}^e$  — потери в боковой стенке резонатора с образцом диэлектрика;

$P_{\text{бок}}$  — потери в боковой стенке резонатора без образца диэлектрика;

$\chi$  — постоянная связи резонатора (см. п. 5.1).

Отношение потерь вычисляют с точностью до трех значащих цифр по формулам:

$$\frac{P_{\text{тор}}^e}{P_{\text{тор}}} = \frac{n^2 (1 + \operatorname{tg}^2 x)}{n^2 + \operatorname{tg}^2 x}; \quad (14)$$

$$\frac{P_{\text{бок}}^e}{P_{\text{тор}}} = \frac{l_0}{R} \left( \frac{\lambda_n}{\lambda_{\text{кр}}} \right)^2; \quad (15)$$

$$\frac{P_{\text{бок}}}{P_{\text{тор}}} = \frac{l_0}{R} \left( \frac{\lambda_n}{\lambda_{\text{кр}}} \right)^2, \quad (16)$$

где  $R$  — радиус резонатора, мм;

$l_r$  — резонансная длина резонатора с образцом диэлектрика, мм.

Примечания:

1. Радиус резонатора  $R$  и нагруженная добротность  $Q_0$  должны быть указаны в нормативно-технической документации.

2. При оценочных измерениях тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  можно принять  $\eta=1$ .

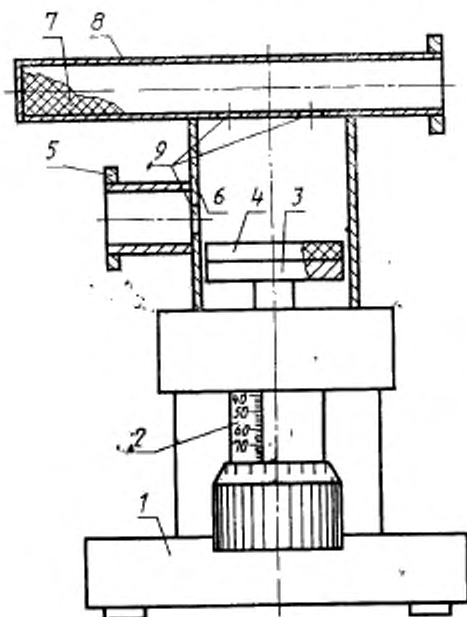
3. При измерениях тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta > 0,001$  потери на связь можно не учитывать, т. е. при расчетах принимать  $X=0$ .

Программа расчета относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  на ЭВМ приведена в справочном приложении 7.

7.3. При использовании метода «вариации частоты и типов колебаний» относительную диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$  вычисляют с точностью до трех значащих цифр по формуле (4) и тангенс угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  с точностью до двух значащих цифр по формуле (8).

---

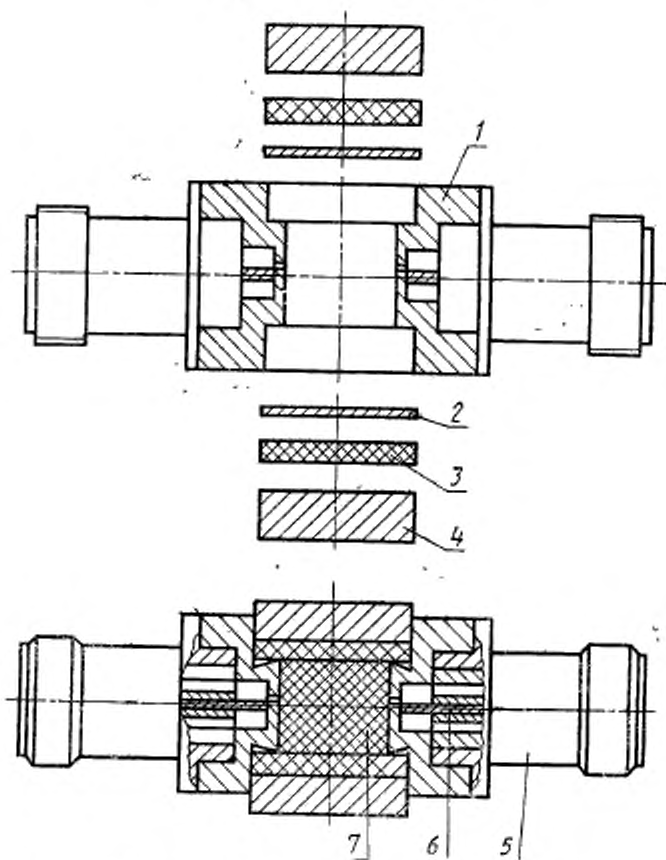
Измерительная ячейка типа ОР-2М



1—основание; 2—микрометрическая головка; 3—поршень; 4—образец диэлектрика; 5—фланец; 6—резонатор; 7—поглотитель; 8—волновод; 9—отверстия связи

Диапазон измеряемых значений относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  от 1,5 до 200, тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-2}$ , произведение  $\epsilon \operatorname{tg} \delta$  не более 0,2.

Измерительная ячейка типа ИЯМТ

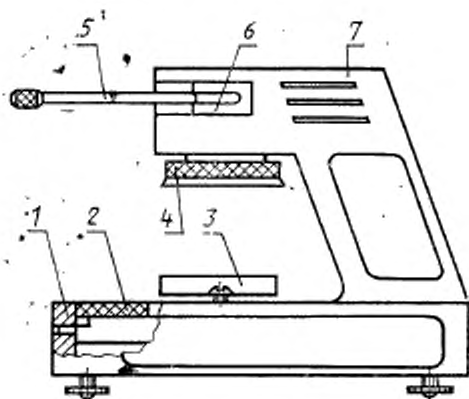


1—корпус ячейки; 2—электрод из фольги; 3—резиновая прокладка; 4—крышка; 5—коаксиальный разъем; 6—возбуждающий элемент; 7—образец диэлектрика

## Технические характеристики ячеек ИЯМТ

Тип ячейки	Размеры ячейки, мм		Диапазон измеряемых относительных диэлектрических проницаемостей
	Диаметр	Высота	
ИЯМТ-1К	50	10	От 2 до 4
ИЯМТ-2К	14	10	От 4 до 40

Прижимное устройство



1—основание; 2—часовой индикатор; 3—платформа; 4—плава-  
ющая прижимная платформа; 5—ручка управления; 6—акти-  
вая пара; 7—корпус



ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ  
МЕТОДА «ВАРИАЦИИ ДЛИНЫ РЕЗОНАТОРА»

1. Образец диэлектрика должен быть выполнен в форме диска диаметром  $50 \pm \begin{smallmatrix} 0,025 \\ 0,030 \end{smallmatrix}$  мм (см. чертеж).
2. Отклонение от параллельности торцов образца не более 0,03 мм, отклонение от перпендикулярности боковой поверхности к торцу не более 0,05 мм.
3. Высоту образца  $d$  вычисляют по формуле

$$d = 0,5m \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon - \frac{\lambda^2}{1,64 \cdot R^2}}}$$

где  $\lambda$  — длина волны на частоте измерения, мм;

$R$  — радиус резонатора, мм;

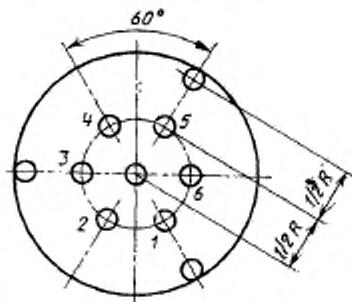
$m$  — целое число, равное 1, 2, 3 ....

Высоту образца можно округлить до целого числа, но не более чем на  $\pm \frac{0,1d}{m}$ .

Предпочтительнее для измерений использовать образцы диэлектриков с таким значением  $d$ , чтобы  $m=1$ .

Примечания:

1. Предварительное измерение можно проводить на образцах толщиной 1—2 мм.
2. Высоту образца измеряют в десяти точках, указанных на чертеже с погрешностью не более  $\pm 0,01$  мм. Вычисляют среднее арифметическое значение этих измерений.



4. Обработка образцов не должна изменять свойств материала. Способ обработки должен быть указан в НТД на материал.

5. Нормализация и кондиционирование образцов — по ГОСТ 6433.1—71.

**ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ  
МЕТОДА «ВАРИАЦИИ ЧАСТОТЫ И ТИПОВ КОЛЕБАНИЙ»**

1. Образец твердого диэлектрика должен быть выполнен в форме диска с размерами, указанными в таблице.

Тип ячейки	Относительная диэлектрическая проницаемость образца $\epsilon$	Размеры образца, мм	
		Диаметр	Высота
ИЯМТ-1К	От 2 до 4	50 <sup>+0,025</sup> <sub>-0,050</sub>	10 <sup>-0,12</sup>
ИЯМТ-2К	От 4 до 40	14 <sup>+0,016</sup> <sub>-0,033</sub>	10 <sup>-0,12</sup>

2. Отклонение от параллельности торцев образца — не более 0,03 мм, отклонение от перпендикулярности боковой поверхности к торцу — не более 0,03 мм, микронеровности на торцевой поверхности образца — не более 0,5 мкм.

3. Высоту образца измеряют не менее чем в десяти точках, равномерно распределенных по поверхности образца.

4. Диаметр образца измеряют не менее чем в шести направлениях, расположенных под одинаковыми углами по отношению друг к другу.

5. Обработка образцов не должна изменять свойств материала. Способ обработки должен быть указан в нормативно-технической документации на материал.

6. Нормализация и кондиционирование образцов по ГОСТ 6433.1—71.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Справочное

Значения корней функции Бесселя

Корень функции Бесселя	Тип колебаний	Численное значение корня
$B_1$	$E_{010}$	2,40483
$B_2$	$E_{110}$	3,83171
$B_3$	$E_{210}$	5,13562
$B_4$	$E_{310}$	5,52008
$B_5$	$E_{410}$	6,38016
$B_6$	$E_{510}$	7,01559
$B_7$	$E_{610}$	7,58834
$B_8$	$E_{710}$	8,41724
$B_9$	$E_{810}$	8,65373
$B_{10}$	$E_{910}$	8,77142
$B_{11}$	$E_{1010}$	9,76102
$B_{12}$	$E_{1110}$	10,1735

**ПРОГРАММА РАСЧЕТА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ  
ПРОНИЦАЕМОСТИ  $\epsilon$  И ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ  $\operatorname{tg} \delta$   
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА «ВАРИАЦИИ ДЛИНЫ РЕЗОНАТОРА»**

```

DIMENSION E (20), TGD (20)
INTEGER Q0
P=3.1415927*2.
READ (5,91) R, AL1, AL2, Q0
91 FORMAT (3F7.2,15)
PRINT 92, R, AL1, AL2, Q0
92 FORMAT (2X, 2HR=, F6.2,5 H AL1=, F6.2,5 H AL2=, F6.2,4 H Q0=, 15)
PRINT 93
93 FORMAT (2X, 30 (2H**))
1 READ (5,94, END=77777) D, AL0, ALE, BL0, AN0, ANE, EMAX
94 FORMAT (7F9.3)
PRINT 95, D, AL0, ALE, BL0, AN0, ANE, EMAX
95 FORMAT (2X, 3H D=, F7.3,5H AL0=, F7.3,5 H ALE=, F7.3,5 H BL0=,
F7.3, 5H AN0=, F7.3,5 H ANE=, F7.3,6 H EMAX=, F5.1)
PRINT 96
96 FORMAT (2X, 25 (2H— —) )
AL=AL0-ALE
BL=B0-BLB
CPL=1.64*R
AM=0.186*(BLB/R)**3
AK=AM/(SQRT (AL1/AL2)-1)-2*(AM+1.)
P2=ALE/R*(BLB/CPL)**2
R3=AL0/R*(BLB/CPL)**2
BL=BLB/SQRT (1+(BLB/CPL)**2)
Z=P*0.25
Y=B/* (AL+D)
Y=SIN (Y)/(B/*D*COS (Y))
M=0
2 M=M+1
IF (M.LE.50) GO TO 3
PRINT 97
97 FORMAT (2X, 13HEPS.LT.EPSMAX)
GO TO 1
3 Z=Z+P/2.
X1=Z
Y1=(SIN (X1)/COS (X1))/X1
IF (Y1.LE.Y) GO TO 5
4 Y2=Y1
X2=X1
X1=X2-1.E-1
Y1=(SIN (X1)/COS (X1))/X1
IF (Y1.LE.Y) GO TO 6
GO TO 4
5 X2=X1+1.E-1
Y2=(SIN (X2)/COS (X2))/X2
IF (Y2.GT.Y) GO TO 6
X1=X2
Y1=Y2

```

```

      GO TO 5
6  DO 8 I=1,28
    X=(X1+X2)**.5
    YY=(SIN(X)/COS(X))/X
    IF (YY.GT.Y) GO TO 7
    Y1=YY
    X1=X
    GO TO 8
7  Y2=YY
    X2=X
8  CONTINUE
    E(M)=(BL/CPL)**2+(X*BL/(P*D))**2
    AN2=(X/(B*D))**2
    TG2=(SIN(X)/COS(X))**2
    AF=(AN2+TG2)/(1+TG2-YY)
    P1=AN2*(1+TG2)/(AN2+TG2)
    AF=(1+P1+P2+AK)/(2+P3+AK)
    AN=AN2-ANE
    TGD(M)=AF*ALZ*(18** (AN/28.))-AP)/(E(M)*D*Q8)
    IF (E(M).LT.EMAX) GO TO 2
    M=M+1
    PRINT 98, (E(I), I=1, M)
    PRINT 99, (TGD(I), I=1, M)
98  FORMAT (6X, 5HE (I) =, 18F18.4, (/18F18.4))
99  FORMAT (6X, 7HTGD (I) =, 18F18.4, (/18F18.4))
    PRINT 93
    GO TO 1
77777 CONTINUE
    STOP
    END

```

### 1. Описание задачи

Предложенная программа вычисляет значения относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  твердых диэлектриков по формулам настоящего стандарта (пп. 7.1, 7.2). Для решения transcendентного уравнения

$$\frac{\operatorname{tg} x}{x} = \frac{\operatorname{tg} \beta_0 (L-d)}{\beta_0 d} - \text{используется градиентный метод.}$$

### 2. Описание программы

Программа написана на алгоритмическом языке ФОРТРАН и реализована на ЕС ЭВМ.

В программе используются следующие стандартные функции:

SQRT — вычислить корень квадратный вещественного аргумента;

SIN — вычислить синус угла (вещественный аргумент в радианах);

COS — вычислить косинус угла (вещественный аргумент в радианах).

За один проход программа обчисляет одно измерение. Трансляция и редакция программы осуществляются за 11, 16 с, обработка одного измерения осуществляется за 0,78 с.

### 3. Сообщения об ошибках

Программа сообщений об ошибках не вырабатывает.

## 4. Входные данные

Входные данные вводятся по форматам, указанным в программе.

На входе задаются:

$R$  — радиус резонатора  $R$ , мм;

$AL1, AL2$  — показания индикатора  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  (см. п. 5.1 настоящего стандарта);

$QZ$  — нагруженная добротность резонатора без образца диэлектрика  $Q_0$ ;

$D$  — толщина образца диэлектрика  $d$ , мм (см. обязательное приложение 4);

$ALZ$  — резонансная длина резонатора без образца диэлектрика  $l_0$ , мм (см. п. 6.1);

$ALE$  — резонансная длина резонатора с образцом диэлектрика  $l_s$ , мм (см. п. 6.1);

$BLB$  — длина волны в резонаторе  $\lambda_n$ , мм (см. п. 5.1);

$ANZ, ANE$  — ослабление, введенное аттенуатором до и после помещения образца диэлектрика в резонатор  $A_0, A_s$ , дБ (см. п. 6.2);

$EMAX$  — предполагаемая максимальная относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  образца диэлектрика.

1-я карта вводит величины  $R, AL1, AL2$  по формату 7.2, величину  $QZ$  по формату 15. Число карт, следующих за первой, равно числу измерений.

2-я карта и следующие за ней вводят величины  $D, ALZ, ALE, BLB, ANZ, ANE, EMAX$  по формату F 9.3.

См. пример распечатки входных данных программы.

## 5. Карты управления

Для работы программы необходимо составить следующее задание, выполняющее трансляцию с языка ФОРТРАН, редакцию и вычисление.

// имя задания JOB параметры

// EXEC FORTHCLG

// FORT.SYSIN DD\*

текст программы

/\*

// GO.SYSIN DD\*

исходные данные

/\*

//

## 6. Входные данные

В результате работы программы на печать выводятся все входные величины и результаты расчета:

$E(1)$  — относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  образца;

$TGD(1)$  — тангенс угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  образца

См. пример распечатки выходных данных программы.

Примечания:

1. Если высота образца выбрана так, что  $m=1$  (см. обязательное приложение 4), то на печать выводится один результат.

2. При  $m=2, 3 \dots$  на печать выводится  $m$  результатов, действительным из которых является последний.

## Пример распечатки входных данных программы

~~225.89 + 12.3%~~ ~~276.42%~~ ~~63.277~~ ~~5.98%~~ ~~15.6%~~ ~~12.28%~~ ~~1.83%~~  
~~+ 225.89 + 12.3%~~ ~~276.42%~~ ~~63.277~~ ~~5.98%~~ ~~15.6%~~ ~~12.28%~~ ~~1.83%~~  
~~+ 225.89 + 12.3%~~ ~~276.42%~~ ~~63.277~~ ~~5.98%~~ ~~15.6%~~ ~~12.28%~~ ~~1.83%~~  
~~+ 225.89 + 12.3%~~ ~~276.42%~~ ~~63.277~~ ~~5.98%~~ ~~15.6%~~ ~~12.28%~~ ~~1.83%~~

## Пример распечатки выходных данных программы

~~R=25.89 ALI=12.3% AL2=276.42% ALE=63.277~~  
~~D=12.3% ALB=76.42% ALE=63.277 BLB=5.98% ANZ=15.6% ANE=~~  
~~12.28% EMAX=1.83%~~  
~~E (I)=2.2868~~  
~~TGD (I)=2.85E-24~~  
~~D=5.26% ALB=76.42% ALE=56.224 BLB=5.98% ANZ=15.6% ANE=~~  
~~8.5% EMAX=1.7%~~  
~~E (I)=9.75%~~  
~~TGD (I)=1.54E-83~~  
~~D=3.599 ALB=76.39% ALE=54.6% BLB=5.99% ANZ=9.8% ANE=1%~~  
~~2% EMAX=2%~~  
~~E (I)=19.2822~~  
~~TGD (I)=7.49E-25~~

Редактор М. В. Глушкова

Технический редактор Л. Я. Митрофанова

Корректор Н. Н. Чехолина

.....Сдано в наб. 16.04.86 Подп. в печ. 09.07.86 1,5 л. л. 1,5 усл. ар.-отт. 1,24 уч.-изд. л.  
 Тираж 16000 Цена 5 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП,  
 Новоборисовский пер. 3.  
 Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зэк. 1183