

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61338-1-3

Première édition
First edition
1999-11

Résonateurs diélectriques à modes guidés –

Partie 1-3:

**Informations générales et conditions d'essais –
Méthode de mesure de la permittivité relative
complexe des matériaux diélectriques pour les
résonateurs diélectriques fonctionnant aux
hyperfréquences**

Waveguide type dielectric resonators –

Part 1-3:

**General information and test conditions –
Measurement method of complex relative
permittivity for dielectric resonator materials at
microwave frequency**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61338-1-3:1999

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61338-1-3

Première édition
First edition
1999-11

Résonateurs diélectriques à modes guidés –

Partie 1-3:

**Informations générales et conditions d'essais –
Méthode de mesure de la permittivité relative
complexe des matériaux diélectriques pour les
résonateurs diélectriques fonctionnant aux
hyperfréquences**

Waveguide type dielectric resonators –

Part 1-3:

**General information and test conditions –
Measurement method of complex relative
permittivity for dielectric resonator materials at
microwave frequency**

© IEC 1999 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photo-copie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe, Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

T

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	10
Articles	
1 Domaine d'application et objet	12
2 Paramètres à mesurer	12
3 Théorie et équations de calcul	14
3.1 Permittivité relative et facteur de pertes	14
3.2 Détermination de la conductivité relative des lames conductrices	20
3.3 Coefficient de température de la fréquence de résonance.....	22
3.4 Dépendance en température de $\tan \delta$	26
4 Préparation du spécimen diélectrique	26
4.1 Préparation des barreaux diélectriques normalisés	26
4.2 Préparation du spécimen pour la mesure	28
5 Equipement et appareil de mesure.....	28
5.1 Equipement de mesure	28
5.2 Appareil de mesure de la permittivité complexe	30
5.3 Appareil de mesure du coefficient de température	34
6 Procédure de mesure.....	34
6.1 Procédure de mesure de la permittivité complexe	34
6.2 Procédure de mesure du coefficient de température	40
7 Précision de la mesure et évaluation des erreurs	40
7.1 Erreur de mesure due aux dimensions des lames conductrices.....	40
7.2 Erreur de mesure de la conductivité relative	42
7.3 Erreurs dues à l'espace entre le barreau diélectrique et les lames conductrices ou à la perturbation de champ	44
7.4 Résultat de mesure pendant le cycle «round robin»	44
Annexe A – Bibliographie	46
Figures	
Figure 1 – Configuration d'un résonateur diélectrique en barreau cylindrique court-circuité aux deux extrémités par deux lames conductrices parallèles.....	14
Figure 2 – Diagramme de calcul de la permittivité relative utilisant le mode TE_{01l}	16
Figure 3 – Configuration des résonateurs diélectriques normalisés en barreau pour la mesure de la conductivité des lames conductrices.....	20
Figure 4 – Dépendance en température de f_0 (figure 4a) et $\tan \delta$ (figure 4b) pour cinq sortes de matériaux diélectriques ($\epsilon' = 21, 25, 30, 38$ et 90).....	24
Figure 5 – Graphique de mode d'un résonateur diélectrique en barreau court-circuité à deux extrémités par les lames conductrices parallèles.....	30
Figure 6 – Diagramme synoptique de l'équipement de mesure	32
Figure 7 – Appareil pour la mesure de la permittivité complexe	32

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
INTRODUCTION	11
Clause	
1 Scope and object	13
2 Measuring parameters	13
3 Theory and calculation equations	15
3.1 Relative permittivity and loss factor	15
3.2 Determination of the relative conductivity of conducting plates	21
3.3 Temperature coefficient of resonance frequency	23
3.4 Temperature dependence of $\tan \delta$	27
4 Preparation of dielectric specimen	27
4.1 Preparation of standard dielectric rods	27
4.2 Preparation of test specimen	29
5 Measurement equipment and apparatus	29
5.1 Measurement equipment	29
5.2 Measurement apparatus for complex permittivity	31
5.3 Measurement apparatus for temperature coefficient	35
6 Measurement procedure	35
6.1 Measurement procedure for complex permittivity	35
6.2 Measurement procedure for temperature coefficient	41
7 Accuracy and error estimation	41
7.1 Measurement error due to the size of conducting plates	41
7.2 Measurement error of relative conductivity	43
7.3 Errors due to the airgap between dielectric rod and conducting plates or to field disturbance	45
7.4 Result of round robin test (RRT)	45
Annex A – Bibliography	47
Figures	
Figure 1 – Configuration of a cylindrical dielectric rod resonator short-circuited at both ends by two parallel conducting plates	15
Figure 2 – Chart for relative permittivity calculation using TE_{01l} mode	17
Figure 3 – Confirmation of standard dielectric rod resonators for measurement of conductivity of conducting plates	21
Figure 4 – Temperature dependence of f_0 (figure 4a) and $\tan \delta$ (figure 4b) for five kinds of dielectrics ($\epsilon' = 21, 25, 30, 38$ and 90)	25
Figure 5 – Mode chart of a dielectric rod resonator short-circuited at both ends by parallel conducting plates	31
Figure 6 – Schematic diagram of measurement equipment	33
Figure 7 – Measurement apparatus for complex permittivity	33

Figure 8 – Appareil de mesure du coefficient de température	34
Figure 9 – Réponse en fréquence d'un résonateur en mode TE_{011} ayant $\varepsilon' = 37,5$, $d = 8,00$ mm et $h = 3,3$ mm	38
Figure 10 – Affaiblissement d'insertion IA_0 , fréquence de résonance f_0 et largeur de bande à demi-puissance Δf	38
Figure 11 – Erreur de mesure sur ε' et $\tan \delta$ en fonction du rapport des dimensions d'/d	42
Tableaux	
Tableau 1 – Exemples de dimensions des barreaux diélectriques normalisés.....	26
Tableau 2 – Exemple de la fréquence de résonance en mode TE_{011} pour les différents ε' et différentes dimensions d'un spécimen diélectrique	28
Tableau 3 – Dimensions et matériaux recommandés pour la lame conductrice	34

Figure 8 – Measurement apparatus for temperature coefficient	35
Figure 9 – Frequency response for TE ₀₁₁ mode resonator having $\epsilon' = 37,5$, $d = 8,00$ mm and $h = 3,3$ mm	39
Figure 10 – Insertion attenuation IA_0 , resonance frequency f_0 and half-power bandwidth Δf	39
Figure 11 – Measurement error on ϵ' and $\tan \delta$ by the size ratio d'/d	43

Tables

Table 1 – Examples of dimensions for standard dielectric rods.....	27
Table 2 – Example of TE ₀₁₁ mode resonance frequency for various ϵ' and dimensions of a dielectric specimen	29
Table 3 – Recommended dimensions and materials for conducting plate	35

This document is a preview generated by EVS

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉSONATEURS DIÉLECTRIQUES À MODES GUIDÉS –

Partie 1-3: Informations générales et conditions d'essais – Méthode de mesure de la permittivité relative complexe des matériaux diélectriques pour les résonateurs diélectriques fonctionnant aux hyperfréquences

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61338-1-3 a été établie par le comité d'études 49 de la CEI: Dispositifs piézoélectriques et diélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
49/444/FDIS	49/449/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

La présente norme constitue la partie 1-3 de la CEI 61338.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WAVEGUIDE TYPE DIELECTRIC RESONATORS –

**Part 1-3: General information and test conditions –
Measurement method of complex relative permittivity for
dielectric resonator materials at microwave frequency**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61338-1-3 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
49/444/FDIS	49/449/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annex A is for information only.

This standard forms part 1-3 of IEC 61338.

La CEI 61338, Résonateurs diélectriques à modes guidés, comprend les parties suivantes:

Partie 1-1: Informations générales et conditions d'essais – Informations générales (CEI 61338-1-1)

Partie 1-2: Informations générales et conditions d'essais – Conditions d'essais (CEI 61338-1-2)

Partie 1-3: Informations générales et conditions d'essais – Méthode de mesure de la permittivité relative complexe des matériaux diélectriques pour les résonateurs diélectriques fonctionnant aux hyperfréquences (CEI 61338-1-3)

Partie 2: Guide d'emploi des résonateurs diélectriques à modes guidés (CEI 61338-2) (à l'étude)

Partie 3: Encombrements normalisés (CEI 61338-3) (à l'étude)

Le comité a décidé que cette publication reste valable jusqu'en 2003. A cette date, selon décision préalable du comité, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IEC 61338, Waveguide type dielectric resonators, consists of the following parts:

Part 1-1: General information and test conditions – General information (IEC 61338-1-1)

Part 1-2: General information and test conditions – Test conditions (IEC 61338-1-2)

Part 1-3: General information and test conditions – Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonator materials at microwave frequency (IEC 61338-1-3)

Part 2: Guide to the use of waveguide type dielectric resonators (IEC 61338-2) (under consideration)

Part 3: Standard outlines (IEC 61338-3) (under consideration)

The committee has decided that this publication remains valid until 2003. At this date, in accordance with the committee's decision, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

Les matériaux diélectriques pour résonateurs et filtres fonctionnant aux hyperfréquences ont une permittivité relative élevée, un faible facteur de pertes et une bonne stabilité en température des fréquences de résonance. La connaissance de ces paramètres est d'une importance primordiale pour le développement de nouveaux matériaux, de la part du fournisseur et pour la conception des composantes fonctionnant aux hyperfréquences, de la part du client.

Les paramètres des matériaux pour résonateurs diélectriques nécessaires pour la construction des composantes fonctionnant aux hyperfréquences sont:

- la composante réelle ϵ' de la permittivité relative complexe;
- le facteur de pertes $\tan \delta$;
- le coefficient de température de la fréquence de résonance (*TCF*);
- la dépendance en température de $\tan \delta$.

Plusieurs méthodes de mesure sont proposées pour déterminer la permittivité complexe aux hyperfréquences:

- la méthode du résonateur ayant la forme d'un barreau diélectrique utilisant le mode de résonance TE_{011} ;
- la méthode de la cavité cylindrique utilisant le mode de résonance TE_{010} ;
- la méthode de perturbation utilisant une cavité cylindrique;
- la méthode des paramètres S utilisant une ligne coaxiale.

INTRODUCTION

Dielectric materials for microwave resonators and filters have high relative permittivity, a low loss factor and superior temperature stability of resonance frequencies. Knowledge of these parameters is of primary importance for the development of new materials on the supplier side and for the design of dielectric microwave components on the customer side.

The parameters of dielectric resonator materials needed for the design of microwave components are:

- the real component ϵ' of the complex relative permittivity;
- the loss factor $\tan \delta$;
- the temperature coefficient of resonance frequency (*TCF*);
- the temperature dependence of $\tan \delta$.

Several measurement methods are proposed to determine the complex permittivity at microwave frequencies:

- the dielectric rod resonator method using TE_{011} resonance mode;
- the cylindrical cavity method using $TE_{01\delta}$ resonance mode;
- the perturbation method using a cylindrical cavity;
- the S-parameter method using a coaxial line.

RÉSONATEURS DIÉLECTRIQUES À MODES GUIDÉS –

Partie 1-3: Informations générales et conditions d'essais – Méthode de mesure de la permittivité relative complexe des matériaux diélectriques pour les résonateurs diélectriques fonctionnant aux hyperfréquences

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61338 décrit la méthode d'un résonateur ayant la forme d'un barreau pour une large gamme de propriétés diélectriques dans la gamme des hyperfréquences dans des applications pratiques. Cette méthode a les caractéristiques suivantes:

- une solution mathématique complète et exacte de la permittivité relative complexe est donnée facilement par le programme d'une machine à calculer;
- l'erreur de mesure est inférieure à 0,3 % pour ε' et inférieure à $0,05 \times 10^{-4}$ pour $\tan \delta$;
- le TCF est mesuré directement sans aucune compensation avec une erreur de mesure inférieure à 1×10^{-6} /K.

L'objet de cette norme est de décrire les méthodes de mesure de la permittivité relative complexe des matériaux pour résonateurs diélectriques fonctionnant aux hyperfréquences par la méthode du résonateur diélectrique ayant la forme d'un barreau court-circuité aux deux extrémités par les lames conductrices parallèles. Les paramètres de mesure sont ε' , $\tan \delta$, TCF et la dépendance en température de $\tan \delta$ à la fréquence de résonance. Il est supposé que les matériaux diélectriques sont isotropes et homogènes.

2 Paramètres à mesurer

Les termes des paramètres à mesurer sont définis de la manière suivante:

$$\varepsilon_r = \varepsilon' - j\varepsilon'' = D/(\varepsilon_0 E) \quad (1)$$

$$\tan \delta = \varepsilon''/\varepsilon' \quad (2)$$

$$TCF = -\frac{1}{2} TC \varepsilon - \alpha \quad (3)$$

où

D est la densité du flux électrique;

E est l'intensité du champ électrique;

ε_0 est la permittivité du vide;

ε' et ε'' sont les composantes réelle et imaginaire de la permittivité relative complexe ε_r .

Il convient de noter que le TCF est défini par l'équation (3) comme la constante du matériau, $TC\varepsilon$ étant le coefficient de température de la permittivité relative et α le coefficient de dilatation linéaire thermique du spécimen diélectrique. Chaque coefficient de température est donné de la manière suivante:

WAVEGUIDE TYPE DIELECTRIC RESONATORS –

Part 1-3: General information and test conditions – Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonator materials at microwave frequency

1 Scope and object

This part of IEC 61338 describes the dielectric rod resonator measurement method for a wide range of microwave dielectric properties in practical applications. This method has the following characteristics:

- a complete and exact mathematical solution of complex relative permittivity is given by easy computer software;
- the measurement error is less than 0,3 % for ϵ' and less than $0,05 \times 10^{-4}$ for $\tan \delta$;
- the TCF is directly measured without any compensation with a measurement error less than $1 \times 10^{-6}/K$.

The object of this standard is to describe the measurement methods of the complex relative permittivity of dielectric resonator materials at microwave frequencies by means of the dielectric rod resonator method short-circuited at both ends by parallel conducting plates. The measuring parameters are ϵ' , $\tan \delta$, TCF and the temperature dependence of $\tan \delta$ at the resonance frequency. The dielectric materials are assumed to be isotropic and homogeneous.

2 Measuring parameters

The terms of the measuring parameters are defined as follows:

$$\epsilon_r = \epsilon' - j\epsilon'' = D/(\epsilon_0 E) \quad (1)$$

$$\tan \delta = \epsilon''/\epsilon' \quad (2)$$

$$TCF = -\frac{1}{2} TC \epsilon - \alpha \quad (3)$$

where

D is the electric flux density;

E is the electric field strength;

ϵ_0 is the electric constant;

ϵ' and ϵ'' are the real and imaginary components of the complex relative permittivity ϵ_r .

It should be noted that the TCF is defined by equation (3) as the material constant, $TC\epsilon$ being the temperature coefficient of relative permittivity and α the coefficient of thermal expansion of the dielectric specimen. Each of the temperature coefficients is given as follows: