IEC 61338-1-4

Edition 1.0 2005-11

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Waveguide type dielectric resonators – Part 1-4: General information and test conditions – Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonator materials at millimetre-wave frequency

Résonateurs diélectriques à modes guidés – Partie 1-4: Informations générales et conditions d'essais – Méthode de mesure de la permittivité relative complexe des matériaux des résonateurs diélectriques fonctionnant à des fréquences millimétriques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

V

ICS 31.140

ISBN 978-2-8322-1000-0

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 4

1 Scope and object 6
2 Normative references 6
3 Measurement parameter 7
4 Dielectric rod resonator method excited by NRD-guide 8
4.1 Measurement equipment and apparatus 8
4.2 Theory and calculation equations 11
4.3 Measurement procedure 16
4.4 Example of measurement result 19
5 Cut-off waveguide method excited by coaxial cables with small loops 21
5.1 Measurement equipment and apparatus 21
5.2 Theory and calculation equations 23
5.3 Measurement procedure 28

Annex A (informative) Errors on ε_r caused by air gap between dielectric specimen and upper conducting plate 30
Annex B (informative) Derivation of equation (15) for σ_r 31

Bibliography 33

Figure 1 – Schematic diagram of measurement equipment 8
Figure 2 – Measurement apparatus of dielectric rod resonator method excited by NRD-guide 9
Figure 3 – Waveguide transducer from NRD-guide to waveguide 11
Figure 4 – Configuration of a cylindrical dielectric rod resonator short-circuited at both ends by two parallel conducting plates 12
Figure 5 –Calculations of u^2 and W as a function of v^2 for TE_{011}, TE_{021} and TE_{031} resonance modes 13
Figure 6 –Configuration of reference dielectric resonator for measurement of σ_r of conducting plates 15
Figure 7 – Diameter *d* of TE_{011}, TE_{021} and TE_{031} mode resonators with resonance frequency of 60 GHz 18
Figure 8 – Diameter *d* of TE_{011}, TE_{021} and TE_{031} mode resonators with resonance frequency of 77 GHz 19
Figure 9 – Example of TE_{021} mode resonant peak 20
Figure 10 – Measurement result of temperature dependence of f_0 and ε' of sapphire 21
Figure 11 – Measurement apparatus for cut-off waveguide method 22
Figure 12 – Frequency response for the empty cavity with dimensions of *d* = 7 mm and *h* = 31 mm 24
Figure 13 – Correction term $\Delta\varepsilon / \varepsilon_a$ 26
Figure 14 – Correction terms $\Delta A / A$ and $\Delta B / B$ 27

Figure 15 – Measurement apparatus for temperature coefficient of relative permittivity 28
Figure 16 – Mode chart of TE_{011} and TE_{013} modes for an empty cavity 29
Figure A.1 – Error on ε' caused by air gap between dielectric specimen and upper conducting plates 30

Table 1 – Diameter of conducting plate 10
Table 2 – Dimension of dielectric strip of NRD-guide 10
Table 3 – Dimensions of waveguide transducer 10
Table 4 – Dimensions of reference sapphire resonators and their partial electric energy filling factor P_e and geometric factor *G* 15
Table 5 – Diameter *d* of test specimens for 60 and 77 GHz measurement. Height *h* is fixed to 2,25 mm and 1,80 mm for 60 GHz and 77 GHz measurement, respectively 17
Table 6 – Measurement results of σ_r of conducting plates 20
Table 7 – Measurement results of ε' and tan δ of sapphire and PTFE specimen 20
Table 8 – Recommended dimensions for conducting cylinder 23

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WAVEGUIDE TYPE DIELECTRIC RESONATORS –

Part 1-4: General information and test conditions – Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonator materials at millimetre-wave frequency

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 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 IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61338-1-4 has been prepared by IEC Technical committee 49: Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection.

This bilingual version (2014-02) corresponds to the monolingual English version, published in 2005-11.

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

FDIS	Report on voting
49/748/FDIS	49/751/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.

The French version of this standard has not been voted upon.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

IEC 61338 consists of the following parts, under the general title *Waveguide type dielectric resonators:*

Part 1: Generic specification

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

Part 1-4: General information and test conditions – Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonator materials at millimetre-wave frequency

Part 2: Guidelines for oscillator and filter applications

Part 4: Sectional specification

Part 4-1: Blank detail specification

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

WAVEGUIDE TYPE DIELECTRIC RESONATORS –

Part 1-4: General information and test conditions – Measurement method of complex relative permittivity for dielectric resonator materials at millimetre-wave frequency

1 Scope and object

This part of IEC 61338 describes the measurement method of dielectric properties for dielectric resonator materials at millimetre-wave frequency.

This standard consists of two measurement methods: a) the dielectric rod resonator method excited by NRD-guide (Non-Radiative Dielectric waveguide) and b) the cut-off waveguide method excited by coaxial cables with small loops.

a) The dielectric rod resonator method excited by NRD-guide is similar to the dielectric rod resonator method given in IEC 61338-1-3. This method has the following characteristics:
   - a complete and exact mathematical solution of complex permittivity is given by computer software;
   - the measurement error is less than 0,3 % for ε' and less than 0,05 $\times 10^{-4}$ for tan δ;
   - the applicable measuring ranges of complex permittivity for this method are as follows:

     frequency: 30 GHz < f < 100 GHz;

     relative permittivity: 2 < ε' < 30;

     loss factor: 10^{-6} < tan δ < 10^{-2}.

b) The cut-off waveguide method excited by coaxial cables with small loops uses a dielectric plate sample placed in a circular cylinder of the TE_{011} mode. This method has the following characteristics:
   - fringe effect is corrected using the correction charts on the basis of rigorous analysis;
   - the measurement error is less than 0,5 % for ε' and less than 0,05 $\times 10^{-4}$ for tan δ;
   - the TCF is measured with high accuracy;
   - the applicable measuring ranges of dielectric properties for this method are as follows:

     frequency: 30 GHz < f < 100 GHz;

     relative permittivity: 2 < ε' < 30;

     loss factor: 10^{-6} < tan δ < 10^{-2}.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 61338-1-3, *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*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 36

1 Domaine d'application et objet 38
2 Références normatives 38
3 Paramètre de mesure 39
4 Méthode du résonateur diélectrique en barreau excité par un guide NRD 40
4.1 Equipement et appareil de mesure 40
4.2 Théorie et équations de calcul 43
4.3 Procédure de mesure 48
4.4 Exemple de résultat de mesure 51
5 Méthode de guide d'ondes de coupure excité par des câbles coaxiaux présentant de petites boucles 54
5.1 Equipement et appareil de mesure 54
5.2 Théorie et équations de calcul 56
5.3 Procédure de mesure 61

Annexe A (informative) Erreurs de ε_r provoquées par un entrefer entre le spécimen diélectrique et la lame conductrice supérieure 63
Annexe B (informative) Dérivation de l'équation (15) pour σ_r 64

Bibliographie 66

Figure 1 – Diagramme synoptique de l'équipement de mesure 40
Figure 2 – Appareil de mesure faisant appel à la méthode du résonateur diélectrique en barreau excité par un guide NRD 42
Figure 3 – Transducteurs de guides d'ondes, du guide NRD au guide d'ondes 43
Figure 4 – Configuration d'un résonateur diélectrique en barreau cylindrique court-circuité aux deux extrémités par deux lames conductrices parallèles 44
Figure 5 –Calculs de u^2 et W en fonction de v^2 pour les modes de résonance TE_{011}, TE_{021} et TE_{031} 45
Figure 6 –Configuration du résonateur diélectrique de référence pour la mesure de la valeur σ_r des lames conductrices 47
Figure 7 – Diamètre d des résonateurs en mode TE_{011}, TE_{021} et TE_{031} avec une fréquence de résonance de 60 GHz 51
Figure 8 – Diamètre d des résonateurs en mode TE_{011}, TE_{021} et TE_{031} avec une fréquence de résonance de 77 GHz 51
Figure 9 – Exemple de crête de résonance en mode TE_{021} 52
Figure 10 – Résultat de mesure de dépendance en température des valeurs f_0 et ε' du saphir 54
Figure 11 – Appareil de mesure pour la méthode de guide d'ondes de coupure 55
Figure 12 – Réponse en fréquence de la cavité vide avec des dimensions de d = 7 mm et h = 31 mm 57
Figure 13 – Terme correctif $\Delta\varepsilon / \varepsilon_a$ 59
Figure 14 – Termes correctifs $\Delta A / A$ et $\Delta B / B$ 60

Figure 15 – Appareil de mesure du coefficient de température de la permittivité relative 61
Figure 16 – Graphique de mode des modes TE_{011} et TE_{013} pour une cavité vide 62
Figure A.1 – Erreur de ε' provoquée par un entrefer entre le spécimen diélectrique et les lames conductrices supérieures 63

Tableau 1 – Diamètre des lames conductrices 42
Tableau 2 – Dimensions des bandes diélectriques de guide NRD 43
Tableau 3 – Dimensions des transducteurs de guides d'ondes 43
Tableau 4 – Dimensions des résonateurs saphirs de référence ainsi que leur facteur de remplissage d'énergie électrique partiel P_e et leur facteur géométrique G 47
Tableau 5 – Diamètre d des spécimens à essayer pour une mesure à 60 GHz et 77 GHz. La hauteur h est fixée à 2,25 mm et 1,80 mm pour une mesure à 60 GHz et 77 GHz, respectivement 49
Tableau 6 – Résultats de mesure de la valeur σ_r des lames conductrices 52
Tableau 7 – Résultats de mesure des valeurs ε' et tan δ de spécimens en saphir et PTFE 53
Tableau 8 – Dimensions recommandées pour le cylindre conducteur 56

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

RÉSONATEURS DIÉLECTRIQUES À MODES GUIDÉS –

Partie 1-4: Informations générales et conditions d'essais – Méthode de mesure de la permittivité relative complexe des matériaux des résonateurs diélectriques fonctionnant à des fréquences millimétriques

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI 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 61338-1-4 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.

La présente version bilingue (2014-02) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2005-11.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 49/748/FDIS et 49/751/RVD.

Le rapport de vote 49/751/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La CEI 61338 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Résonateurs diélectriques à modes guidés:*

Partie 1: Spécification générique

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

Partie 1-4: Informations générales et conditions d'essais – Méthode de mesure de la permittivité relative complexe des matériaux des résonateurs diélectriques fonctionnant à des fréquences millimétriques

Partie 2: Lignes directrices pour l'application aux filtres et aux oscillateurs

Partie 4: Spécification intermédiaire

Partie 4-1: Spécification particulière-cadre

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IMPORTANT – Le logo *"colour inside"* qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

RÉSONATEURS DIÉLECTRIQUES À MODES GUIDÉS –

Partie 1-4: Informations générales et conditions d'essais – Méthode de mesure de la permittivité relative complexe des matériaux des résonateurs diélectriques fonctionnant à des fréquences millimétriques

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61338 décrit la méthode de mesure des propriétés diélectriques des matériaux des résonateurs diélectriques fonctionnant à des fréquences millimétriques.

La présente norme aborde deux méthodes de mesure: a) la méthode du résonateur diélectrique en barreau excité par un guide NRD (guide d'ondes diélectrique non radiatif) et b) la méthode de guide d'ondes de coupure excité par des câbles coaxiaux présentant de petites boucles.

a) La méthode du résonateur diélectrique en barreau excité par un guide NRD est similaire à la méthode du résonateur diélectrique en barreau indiquée dans la CEI 61338-1-3. Les caractéristiques de cette méthode sont les suivantes:
   - une solution mathématique complète et exacte de la permittivité complexe est donnée 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 δ;
   - les gammes de mesures applicables de la permittivité complexe pour cette méthode sont les suivantes:

     fréquence: 30 GHz < f < 100 GHz;

     permittivité relative: 2 < ε' < 30;

     facteur de perte: 10^{-6} < tan δ < 10^{-2}.

b) La méthode de guide d'ondes de coupure excité par des câbles coaxiaux présentant de petites boucles utilise un échantillon de lame diélectrique placé dans un cylindre circulaire du mode TE_{011}. Les caractéristiques de cette méthode sont les suivantes:
   - l'effet pelliculaire est corrigé à l'aide des tableaux de correction, à partir d'une analyse rigoureuse;
   - l'erreur de mesure est inférieure à 0,5 % pour ε' et inférieure à $0{,}05 \times 10^{-4}$ pour tan δ;
   - la valeur de TCF est mesurée avec un niveau d'exactitude élevé;
   - les gammes de mesures applicables des propriétés diélectriques pour cette méthode sont les suivantes:

     fréquence: 30 GHz < f < 100 GHz;

     permittivité relative: 2 < ε' < 30;

     facteur de perte: 10^{-6} < tan δ < 10^{-2}.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 61338-1-3, *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*