

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Cylindrical cavity method to measure the complex permittivity of low-loss dielectric rods

Mesure de la permittivité complexe des barreaux diélectriques à faibles pertes par la méthode de la cavité cylindrique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.120.30

ISBN 978-2-8322-5194-2

**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.**

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Measurement parameters	5
4 Theory and calculation equations	5
5 Measurement system.....	12
6 Measurement procedure	14
6.1 Preparation of measurement apparatus.....	14
6.2 Measurement of reference level	14
6.3 Measurement of cavity parameters: σ_r	14
6.4 Measurement of complex permittivity of test sample: ϵ' , $\tan \delta$	15
Annex A (informative) Example of measurement results and accuracy.....	16
A.1 Measurement of ϵ' and $\tan \delta$ values	16
A.2 Measurement uncertainty of ϵ' and $\tan \delta$	17
Bibliography.....	19
Figure 1 – Structure of a cylindrical cavity resonator.....	6
Figure 2 – Correction factor C_1 for ϵ'	7
Figure 3 – Correction factor C_2 for $\tan \delta$ with the different values of d_1	9
Figure 4 – Schematic diagram of measurement systems.....	13
Figure 5 – Resonance frequency f_0 , insertion attenuation IA_0 and half-power band width f_{BW}	14
Figure 6 – Frequency responses of the TM_{010} mode of cylindrical cavity	15
Table 1 – Numerical values of correction factor C_1	8
Table 2 – Numerical values of correction factor C_2	10
Table 3 – Numerical values of correction factor C_2	11
Table A.1 – The parameters of the cavity and the rod sample	16
Table A.2 – The resonant frequencies and unloaded Q -factors	16
Table A.3 – The approximate values and the relative conductivity value	16
Table A.4 – Correction factors and the measurement results	16
Table A.5 – The measurement uncertainty of ϵ'	17
Table A.6 – The measurement uncertainty of $\tan \delta$	18

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CYLINDRICAL CAVITY METHOD TO MEASURE
THE COMPLEX PERMITTIVITY OF LOW-LOSS DIELECTRIC RODS**

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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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 62810 has been prepared by subcommittee 46F: R.F. and microwave passive components, of IEC technical committee 46: Cables, wires, waveguides, R.F. connectors, R.F. and microwave passive components and accessories.

This bilingual version (2017-12) corresponds to the monolingual English version, published in 2015-02.

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

CDV	Report on voting
46F/242/CDV	46F/260/RVC

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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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.

CYLINDRICAL CAVITY METHOD TO MEASURE THE COMPLEX PERMITTIVITY OF LOW-LOSS DIELECTRIC RODS

1 Scope

This International Standard relates to a measurement method for complex permittivity of a dielectric rod at microwave frequency. This method has been developed to evaluate the dielectric properties of low-loss materials in coaxial cables and electronic devices used in microwave systems. It uses the TM_{010} mode in a circular cylindrical cavity and presents accurate measurement results of a dielectric rod sample, where the effect of sample insertion holes is taken into account accurately on the basis of the rigorous electromagnetic analysis.

In comparison with the conventional method described in IEC 60556 [2]¹, this method has the following characteristics:

- the values of the relative permittivity ϵ' and loss tangent $\tan\delta$ of a dielectric rod sample can be measured accurately and non-destructively;
- the measurement accuracy is within 1,0 % for ϵ' and within 20 % for $\tan\delta$;
- the effect of sample insertion holes is corrected using correction charts presented;
- this method is applicable for the measurements on the following condition:
 - frequency: $1 \text{ GHz} \leq f \leq 10 \text{ GHz}$;
 - relative permittivity: $1 \leq \epsilon' \leq 100$;
 - loss tangent: $10^{-4} \leq \tan\delta \leq 10^{-1}$.

2 Normative references

Void.

¹ Figures in square brackets refer to the Bibliography.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	21
1 Domaine d'application	23
2 Références normatives	23
3 Paramètres de mesure	23
4 Théorie et équations de calcul	24
5 Système de mesure	31
6 Procédure de mesure	33
6.1 Préparation de l'appareil de mesure	33
6.2 Mesure du niveau de référence	33
6.3 Mesure des paramètres de la cavité: σ_r	34
6.4 Mesure de la permittivité complexe de l'échantillon d'essai: ε' , $\tan \delta$	34
Annexe A (informative) Exemple de résultats de mesure et précision de mesure	35
A.1 Mesure des valeurs ε' et $\tan \delta$	35
A.2 Incertitude de mesure de ε' et de $\tan \delta$	36
Bibliographie	38
Figure 1 – Structure d'un résonateur à cavité cylindrique	24
Figure 2 – Facteur de correction C_1 pour ε'	26
Figure 3 – Facteur de correction C_2 pour $\tan \delta$ avec les différentes valeurs de d_1	28
Figure 4 – Représentation schématique des systèmes de mesure	32
Figure 5 – Fréquence de résonance f_0 , affaiblissement d'insertion IA_0 et bande passante à mi-puissance f_{BW}	33
Figure 6 – Réponses en fréquences du mode TM_{010} de la cavité cylindrique	34
Tableau 1 – Valeurs numériques du facteur de correction C_1	26
Tableau 2 – Valeurs numériques du facteur de correction C_2	29
Tableau 3 – Valeurs numériques du facteur de correction C_2	30
Tableau A.1 – Paramètres de la cavité et de l'échantillon de barreau	35
Tableau A.2 – Fréquences de résonance et facteurs Q à vide	35
Tableau A.3 – Valeurs approchées et valeur de la conductivité relative	35
Tableau A.4 – Facteurs de correction et résultats de mesure	36
Tableau A.5 – Incertitude de mesure de ε'	37
Tableau A.6 – Incertitude de mesure de $\tan \delta$	37

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MESURE DE LA PERMITTIVITÉ COMPLEXE DES BARREAUX
DIÉLECTRIQUES À FAIBLES PERTES PAR LA MÉTHODE
DE LA CAVITÉ CYLINDRIQUE**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC 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 l'IEC. L'IEC 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 d'autre part attirée sur le fait que certains des éléments de la présente publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

La Norme internationale IEC 62810 a été établie par le sous-comité 46F: Composants passifs pour hyperfréquences et radio fréquences, du comité d'études 46 de l'IEC: Câbles, fils, guides d'ondes, connecteurs, composants passifs pour micro-onde et accessoires.

La présente version bilingue (2017-12) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2015-02.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 46F/242/CDV et 46F/260/RVC.

Le rapport de vote 46F/260/RVC 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/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC 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.

MESURE DE LA PERMITTIVITÉ COMPLEXE DES BARREAUX DIÉLECTRIQUES À FAIBLES PERTES PAR LA MÉTHODE DE LA CAVITÉ CYLINDRIQUE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale traite d'une méthode de mesure de la permittivité complexe d'un barreau diélectrique en hyperfréquence. La présente méthode a été développée pour évaluer les propriétés diélectriques des matériaux à faibles pertes dans les câbles coaxiaux et les dispositifs électroniques utilisés dans les systèmes à hyperfréquences. Elle utilise le mode TM_{010} dans une cavité cylindrique circulaire et présente des résultats de mesure précis d'un échantillon de barreau diélectrique, pour lequel l'effet des trous d'insertion de l'échantillon est pris en compte avec précision, en se fondant sur l'analyse électromagnétique rigoureuse.

En comparaison avec la méthode conventionnelle décrite dans l'IEC 60556 [2]¹, cette méthode comporte les caractéristiques suivantes:

- les valeurs de la permittivité relative ε' et de la tangente de l'angle de perte $\tan\delta$ d'un échantillon de barreau diélectrique peuvent être mesurées avec précision et de manière non destructive;
- la précision de mesure est de 1,0 % pour ε' et de 20 % pour $\tan\delta$;
- l'effet des trous d'insertion des échantillons est corrigé à l'aide des abaques de correction présentés;
- cette méthode est applicable pour effectuer des mesures dans les conditions suivantes:
 - fréquence: $1 \text{ GHz} \leq f \leq 10 \text{ GHz}$;
 - permittivité relative: $1 \leq \varepsilon' \leq 100$;
 - tangente de l'angle de perte: $10^{-4} \leq \tan\delta \leq 10^{-1}$.

2 Références normatives

Vide.

¹ Les chiffres entre crochets font référence à la Bibliographie.