

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measurement of the complex permittivity for low-loss dielectric substrates
balanced-type circular disk resonator method**

**Méthode au résonateur à disque circulaire de type symétrique pour mesurer la
permittivité complexe des substrats diélectriques à faible perte**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.120.30

ISBN 978-2-8322-9133-7

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 Terms and definitions	5
4 Measurement parameters	6
5 Theory and calculation equations	6
6 Measurement system.....	8
7 Measurement procedure	9
7.1 Preparation of measurement apparatus.....	9
7.2 Adjustment of measurement conditions	9
7.3 Calibration of a vector network analyzer	9
7.4 Measurement of complex permittivity of test sample	10
7.5 Periodic checkup of metal in resonator.....	10
Annex A (informative) Example of measurement results and associated uncertainties for complex permittivity	11
Bibliography	13
Figure 1 – Structure of a circular disk resonator	7
Figure 2 – Relations between resonant frequency and relative permittivity	8
Figure 3 – Schematic diagram of a vector network analyzer measurement system	9
Figure 4 – Frequency response of $ S_{21} $ of balanced-type circular disk resonator	10
Table A.1 – Parameters of the cavity and the sheet sample	11
Table A.2 – The resonant frequencies and unloaded Q-factors	11
Table A.3 – Measurement results of complex permittivity	12

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT OF THE COMPLEX PERMITTIVITY
FOR LOW-LOSS DIELECTRIC SUBSTRATES
BALANCED-TYPE CIRCULAR DISK RESONATOR METHOD**

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 63185 has been prepared by subcommittee 46F: RF and microwave passive components, of IEC technical committee 46: Cables, wires, waveguides, RF connectors, RF and microwave passive components and accessories.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
46F/523/FDIS	46F/531/RVD

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

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

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document 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.

MEASUREMENT OF THE COMPLEX PERMITTIVITY FOR LOW-LOSS DIELECTRIC SUBSTRATES BALANCED-TYPE CIRCULAR DISK RESONATOR METHOD

1 Scope

This document relates to a measurement method for complex permittivity of a dielectric substrates at microwave and millimeter-wave frequencies. This method has been developed to evaluate the dielectric properties of low-loss materials used in microwave and millimeter-wave circuits and devices. It uses higher-order modes of a balanced-type circular disk resonator and provides broadband measurements of dielectric substrates by using one resonator, where the effect of excitation holes is taken into account accurately on the basis of the mode-matching analysis.

In comparison with the conventional method described in IEC 62810 and IEC 61338-1-3, this method has the following characteristics:

- the values of the relative permittivity ϵ_r' and loss tangent $\tan\delta$ normal to dielectric plate samples can be measured accurately and non-destructively;
- this method presents broadband measurements by using higher-order modes by one resonator;
- this method is applicable for the measurements on the following condition:
 - frequency: $10\text{ GHz} \leq f \leq 110\text{ GHz}$;
 - relative permittivity: $1 \leq \epsilon_r' \leq 10$;
 - loss tangent: $10^{-4} \leq \tan\delta \leq 10^{-2}$.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 61338-1-3:1999, *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 62810:2015, *Cylindrical cavity method to measure the complex permittivity of low-loss dielectric rods*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	15
1 Domaine d'application	17
2 Références normatives	17
3 Termes et définitions	17
4 Paramètres de mesure	18
5 Théorie et équations de calcul	18
6 Système de mesure	20
7 Procédure de mesure	21
7.1 Préparation de l'appareil de mesure	21
7.2 Réglage des conditions de mesure	21
7.3 Étalonnage d'un analyseur de réseau vectoriel	21
7.4 Mesurage de la permittivité complexe de l'échantillon d'essai	22
7.5 Vérification périodique du métal dans le résonateur	22
Annexe A (informative) Exemple de résultats de mesure de la permittivité complexe et incertitudes associées	23
Bibliographie	25
Figure 1 – Structure d'un résonateur à disque circulaire	19
Figure 2 – Relations entre la fréquence de résonance et la permittivité relative	20
Figure 3 – Schéma de principe d'un système de mesure d'un analyseur de réseau vectoriel	21
Figure 4 – Réponse en fréquence de $ S_{21} $ du résonateur à disque circulaire de type symétrique	22
Tableau A.1 – Paramètres de la cavité et échantillon de tôle	23
Tableau A.2 – Fréquences de résonance et facteurs de qualité Q sans charge	23
Tableau A.3 – Résultats de mesure de la permittivité complexe	24

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODE AU RÉSONATEUR À DISQUE CIRCULAIRE DE TYPE
SYMÉTRIQUE POUR MESURER LA PERMITTIVITÉ COMPLEXE
DES SUBSTRATS DIÉLECTRIQUES À FAIBLE PERTE**

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 attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 63185 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.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
46F/523/FDIS	46F/531/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 internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de ce document 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 au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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 ce document en utilisant une imprimante couleur.

MÉTHODE AU RÉSONATEUR À DISQUE CIRCULAIRE DE TYPE SYMÉTRIQUE POUR MESURER LA PERMITTIVITÉ COMPLEXE DES SUBSTRATS DIÉLECTRIQUES À FAIBLE PERTE

1 Domaine d'application

Le présent document traite d'une méthode de mesure de la permittivité complexe des substrats diélectriques aux hyperfréquences et aux fréquences à ondes millimétriques. Cette méthode a été élaborée pour évaluer les propriétés diélectriques des matériaux à faible perte utilisés dans les circuits et dispositifs hyperfréquences et à ondes millimétriques. Cette méthode utilise des modes d'ordre supérieur d'un résonateur à disque circulaire de type symétrique et permet d'effectuer, à l'aide d'un résonateur, des mesurages à large bande de substrats diélectriques, dont l'effet des trous d'excitation est pris en compte avec exactitude sur la base de l'analyse de couplage de mode.

En comparaison avec la méthode conventionnelle décrite dans l'IEC 62810 et l'IEC 61338-1-3, cette méthode présente les caractéristiques suivantes:

- elle permet de mesurer avec exactitude et de manière non destructive les valeurs de la permittivité relative ϵ_r' et de la tangente de l'angle de pertes $\tan\delta$ perpendiculaire aux échantillons de plaques diélectriques;
- elle permet des mesurages à large bande à l'aide de modes d'ordre supérieur d'un résonateur;
- elle est applicable pour effectuer des mesurages dans les conditions suivantes:
 - fréquence: $10 \text{ GHz} \leq f \leq 110 \text{ GHz}$;
 - permittivité relative: $1 \leq \epsilon_r' \leq 10$;
 - tangente de l'angle de pertes: $10^{-4} \leq \tan\delta \leq 10^{-2}$.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 61338-1-3:1999, *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*

IEC 62810:2015, *Cylindrical cavity method to measure the complex permittivity of low-loss dielectric rods* (disponible en anglais seulement)