

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60377-2

Première édition
First edition
1977-01

**Méthodes recommandées pour la détermination
des propriétés diélectriques de matériaux isolants
aux fréquences supérieures à 300 MHz**

**Deuxième partie:
Méthodes de résonance**

**Recommended methods for the determination of
the dielectric properties of insulating materials
at frequencies above 300 MHz**

**Part 2:
Resonance methods**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60377-2: 1977

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} 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**

60377-2

Première édition
First edition
1977-01

**Méthodes recommandées pour la détermination
des propriétés diélectriques de matériaux isolants
aux fréquences supérieures à 300 MHz**

**Deuxième partie:
Méthodes de résonance**

**Recommended methods for the determination of
the dielectric properties of insulating materials
at frequencies above 300 MHz**

**Part 2:
Resonance methods**

© IEC 1977 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 photocopie 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 Varembé 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

R

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Objet et domaine d'application	6
2. Introduction.	6
3. Appareillage d'essai	8
4. Eprouvette	10
5. Mode opératoire.	10
6. Evaluation des résultats de mesure	12
7. Procès-verbal d'essai	12
ANNEXE A — Résonateurs	14
FIGURES	32

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Object and scope	7
2. Introduction	7
3. Test apparatus	9
4. Test specimen	11
5. Testing procedure	11
6. Evaluation of measured data	13
7. Test report	13
APPENDIX A — Resonators	15
FIGURES	32

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES POUR LA DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS DIÉLECTRIQUES
DE MATÉRIAUX ISOLANTS AUX FRÉQUENCES SUPÉRIEURES À 300 MHz**

Deuxième partie: Méthodes de résonance

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparées par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 15A: Essais de courte durée, du Comité d'Etudes N° 15 de la CEI: Matériaux isolants.

Elle constitue la deuxième partie de la Publication 377.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Vienne en 1971. A la suite de cette réunion, un projet, document 15A(Bureau Central)25, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mai 1974.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Allemagne	Pays-Bas
Australie	Portugal
Belgique	Suède
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Israël	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Norvège	Yougoslavie

La première partie s'applique aux méthodes de détermination de la permittivité relative et du facteur de dissipation diélectrique des matériaux diélectriques aux hyperfréquences.

La troisième partie s'appliquera aux méthodes de ligne de transmission et de pont (à l'étude).

La quatrième partie s'appliquera aux méthodes optiques (à l'étude).

Autre publication de la CEI citée dans la présente norme:

Publication n° 250: Méthodes recommandées pour la détermination de la permittivité et du facteur de dissipation des isolants électriques aux fréquences industrielles, audibles et radioélectriques (ondes métriques comprises).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**METHODS FOR THE DETERMINATION OF THE DIELECTRIC PROPERTIES
OF INSULATING MATERIALS AT FREQUENCIES ABOVE 300 MHz**

Part 2: Resonance methods

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 15A, Short-time Tests, of IEC Technical Committee No. 15, Insulating Materials.

It forms Part 2 of Publication 377.

A first draft was discussed at the meeting held in Vienna in 1971. As a result of this meeting, a draft, Document 15A(Central Office)25, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in May 1974.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Norway
Belgium	Portugal
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	United States of America
Netherlands	Yugoslavia

Part 1 applies to the procedures for the determination of relative permittivity and dielectric dissipation factor of dielectric materials in the microwave frequency region.

Part 3 will apply to transmission line and bridge methods (under consideration).

Part 4 will apply to optical methods (under consideration).

Other IEC publication quoted in this standard:

Publication No. 250: Recommended Methods for the Determination of the Permittivity and Dielectric Dissipation Factor of Electrical Insulating Materials at Power, Audio and Radio Frequencies Including Metre Wavelengths.

MÉTHODES POUR LA DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS DIÉLECTRIQUES DE MATÉRIAUX ISOLANTS AUX FRÉQUENCES SUPÉRIEURES À 300 MHz

Deuxième partie: Méthodes de résonance

Remarque. — Les prescriptions de la présente norme ne sont applicables qu'en liaison avec les prescriptions de la Publication 377-1 de la CEI: Méthodes recommandées pour la détermination des propriétés diélectriques de matériaux isolants aux fréquences supérieures à 300 MHz, Première partie: Généralités.

1. Objet et domaine d'application

La présente norme s'applique aux modalités de détermination de la permittivité relative et du facteur de dissipation diélectrique — ainsi que des grandeurs qui s'y rapportent, telles que l'indice de pertes — des matériaux diélectriques solides, liquides et fusibles aux hyperfréquences par les méthodes de résonance. Les méthodes décrites ici s'appliquent avant tout aux éprouvettes à faibles pertes.

2. Introduction

Les méthodes de mesure décrites dans la présente norme font appel à des appareils de résonance. Ces appareils consistent essentiellement en une portion de ligne de transmission de section donnée, court-circuitée aux deux extrémités à un intervalle égal à un multiple quelconque de la moitié de la longueur d'onde à la fréquence de mesure. Lorsqu'on insère une éprouvette dans le résonateur, cette longueur d'onde change. La variation de fréquence ou la variation de longueur qui sont respectivement nécessaires pour rétablir la résonance et la variation correspondante du facteur Q constituent des mesures des propriétés diélectriques de l'éprouvette.

Les avantages particuliers des méthodes de résonance sur les autres méthodes d'essais résident dans la valeur extrêmement élevée du facteur Q , résonateur non chargé, ce qui peut être obtenu par l'emploi de modes d'ondes appropriés et par une construction adéquate; cette technique permet de mesurer des facteurs de dissipation très faibles de l'éprouvette. Ainsi, d'une façon générale, pour profiter des avantages de cette méthode, on construit le résonateur pour résoudre un problème particulier de mesure (fréquence, forme et propriétés diélectriques de l'éprouvette). Pour éviter des résultats douteux, il est nécessaire d'étudier soigneusement la configuration du champ résultant. En conséquence, l'appareil à résonance est nécessairement un dispositif à bande étroite, la fréquence d'essai obtenue dépendant de la quantité, de la forme et des propriétés de l'éprouvette ainsi que de son emplacement dans le résonateur.

Les types suivants de résonateur sont d'un emploi courant :

Type de cavité	Gamme de fréquences	Forme de l'éprouvette	Observations	N°
Cavité rentrante	100 MHz à 1 GHz	Disque	$\epsilon_r \leq 10$	A.1
Résonateur coaxial	1 GHz à 3 GHz	Tube		A.2
Cavité (fermée)	1 GHz à 30 GHz	Disque, tige		A.3
« Cavité ouverte »	> 3 GHz	Disque	$\epsilon_r > 5$	A.4
Résonateur optique	> 30 GHz	Plaque, feuille		A.5

Note. — Les valeurs limites indiquées pour la fréquence et la permittivité ne sont que des valeurs approchées, elles peuvent être dépassées si l'on peut tolérer une sensibilité réduite au facteur de dissipation ou à la permittivité (voir également l'article 4 de la Publication 377-1).

METHODS FOR THE DETERMINATION OF THE DIELECTRIC PROPERTIES OF INSULATING MATERIALS AT FREQUENCIES ABOVE 300 MHz

Part 2: Resonance methods

Explanatory Note. — The requirements of this standard are valid only in connection with the requirements given in IEC Publication 377-1, Recommended Methods for the Determination of the Dielectric Properties of Insulating Materials at Frequencies Above 300 MHz, Part 1: General.

1. Object and scope

This standard applies to the procedures for the determination of relative permittivity and dielectric dissipation factor and of quantities related to them, such as loss index, of solid and liquid or fusible dielectric materials in the microwave frequency region by resonance methods. The methods described herein apply primarily to low-loss specimens.

2. Introduction

The measuring methods to be described in this standard involve the use of resonance apparatus. Such apparatus consists essentially of a transmission line section of a given cross-section short-circuited at both ends at an interval of an arbitrary multiple of one-half the working wavelength. When a test specimen is inserted into the resonator, the working wavelength changes. The frequency shift or the length variation respectively required to re-establish resonance and the associated change in the Q -factor are measures of the dielectric properties of the test specimen.

The particular advantage of resonance methods compared with other test methods centres on the extremely high unloaded Q -factor, which can be achieved by the use of suitable wave modes and by proper design; by means of this technique, very low dissipation factors of the test specimen can be measured. Thus, in general, to benefit from the advantages of this method, a resonator is constructed for a particular measuring problem (frequency, shape and dielectric properties of the specimen). To avoid ambiguity of results, a careful examination of the resulting field configuration is necessary. Hence, the resonance apparatus is necessarily a narrowband device, with the resulting test frequency depending on the quantity and shape, the dielectric properties and the location of the test specimen within the resonator.

The following types of resonators are commonly used :

Type of cavity	Frequency range	Shape of specimen	Remarks	No.
Re-entrant cavity	100 MHz to 1 GHz	Disk	$\epsilon_r \leq 10$	A.1
Coaxial resonator	1 GHz to 3 GHz	Tube		A.2
Cavity (closed)	1 GHz to 30 GHz	Disk, rod		A.3
"Open cavity"	> 3 GHz	Disk	$\epsilon_r > 5$	A.4
Optical resonator	> 30 GHz	Plate, sheet		A.5

Note. — The limiting values for frequency and permittivity are only approximate and may be exceeded if reduced sensitivity to the dissipation factor or permittivity may be tolerated (see also Clause 4 of Publication 377-1).

Les divers types de résonateurs, les méthodes de mesure associées et leur évaluation sont traités de façon plus détaillée dans l'annexe A.

3. Appareillage d'essai (voir la figure 1, page 32)

L'appareillage d'essai comprend :

3.1 Un générateur fournissant la fréquence désirée à un niveau de puissance suffisant. La fréquence doit pouvoir être accordée, soit manuellement, soit automatiquement (source à balayage de fréquence) sur toute la gamme de fréquences désirée.

Note. — Les générateurs à balayage de fréquence utilisés en association avec des dispositifs de lecture (voir le paragraphe 3.2.2) conviennent à des essais rapides. On doit veiller à ce que la courbe de résonance ne soit pas affectée par des vitesses de balayage trop élevées.

On doit pouvoir faire varier la puissance de sortie. Il est souhaitable de disposer d'une commande automatique de niveau.

Notes 1. — Les générateurs accordés manuellement pour les méthodes d'essais à fréquence fixe doivent avoir une stabilité de fonctionnement suffisante. Il suffit en général d'une stabilité de 1 ppm ou moins de la fréquence.

2. — Pour éviter un entraînement de fréquence, il est recommandé d'insérer entre le générateur et le circuit un affaiblisseur non réciproque ou un élément d'affaiblissement.

Pour éviter les résonances parasites, le résidu harmonique doit être inférieur à 1%.

3.2 Un détecteur de sensibilité suffisante à la fréquence de mesure. On utilise différents types en association avec les générateurs accordés manuellement ou automatiquement.

3.2.1 Les détecteurs pour les mesures à fréquence fixe doivent avoir une stabilité de fonctionnement suffisante. On peut utiliser soit des voltmètres à diodes avec ou sans amplification, soit des récepteurs accordés sur l'hyperfréquence ou une modulation à basse fréquence de la sortie du générateur avec ou sans régulateur automatique d'accord.

Notes 1. — Les détecteurs à large bande conviennent en général du fait qu'il n'est pas nécessaire de les accorder sur le générateur et que le dispositif à résonance permet une discrimination suffisante avec les perturbations extérieures à hyperfréquences. On ne doit pas oublier, toutefois, que le niveau d'entrée sur le détecteur est assez faible et que le blindage qui peut être efficace aux hyperfréquences peut se montrer insuffisant aux basses fréquences; en conséquence, dans un environnement sujet à des perturbations, un récepteur accordé peut être indispensable.

Dans tous les cas, on doit veiller à éviter les retours par la terre qui peuvent être formés par les connexions des matériels électroniques aux circuits de puissance et les écrans des guides d'ondes d'interconnexion.

2. — Un récepteur indiquant le quotient de deux puissances d'entrée, c'est-à-dire l'une provenant du résonateur et l'autre du générateur, présente l'avantage d'éviter les erreurs dues aux variations de la puissance de sortie du générateur.

3.2.2 Pour les mesures avec balayage de fréquence, il est fait usage de dispositifs de lecture sur écran. Comme seule la puissance de sortie redressée du résonateur est indiquée, on peut employer un oscilloscope à usage général quelconque de sensibilité suffisante.

Note. — Les dispositifs à double trace (fonctionnement en alternance) ont l'avantage d'éliminer les erreurs dues aux variations de la puissance de sortie du générateur.

3.3 Un fréquencemètre de discrimination suffisante dans la gamme des fréquences de mesure.

3.4 Un étalon d'affaiblissement de 3 dB ou un affaiblisseur étalon variable.

3.5 Un résonateur entrant en résonance à la fréquence désirée.

Note. — Il peut ne pas exister dans le commerce de dispositif à résonance qui donne les résultats optimaux pour un problème quelconque d'essais. Il semble donc utile de donner des directives générales pour la construction de types particuliers de résonateurs. Des détails sont donnés dans l'annexe A.

a) Pour faciliter l'usinage avec la précision nécessaire, il est préférable d'employer des résonateurs de section circulaire.

b) Pour les essais de matériaux, on utilise des modes à symétrie axiale exclusivement. En conséquence, avec les modes TEM et TE_{0mn}, ce sont les résonateurs dont le rapport de la longueur au diamètre est voisin de l'unité qui offrent les meilleures possibilités; pour les modes TM_{0mn}, ce rapport est voisin de zéro.

The various types of resonators and the associated measuring procedures and their evaluation are discussed in more detail in Appendix A.

3. Test apparatus (see Figure 1, page 32)

The test apparatus consists of:

3.1 A generator supplying the desired frequency at a sufficient power level. The frequency should be tunable either manually or automatically (a swept-frequency source) over the desired frequency range.

Note. — Swept-frequency generators used in connection with display devices (see Sub-clause 3.2.2) are convenient for quick testing. Care should be taken that the apparent shape of the resonance curve is not affected by excessively high sweeping speeds.

The output power should be variable. Means for automatic level control (ALC) are desirable.

Notes 1. — Manually tuned generators for fixed frequency testing procedures shall have sufficient stability of operation. Stability of 1 ppm or less in the frequency generally suffices.

2. — To avoid frequency pulling, insertion of an isolator or an attenuation pad between the generator and the circuit is recommended.

To avoid spurious resonances, the harmonic content should be less than 1%.

3.2 A detector of sufficient sensitivity at the test frequency. Different types are used in connection with manually or automatically tuned generators.

3.2.1 Detectors for fixed frequency measurements shall have sufficient stability of operation. Either *a*) diode-voltmeters with or without amplification, or *b*) receivers tuned to the microwave frequency or a low-frequency modulation of the generator output with or without automatic frequency control (AFC) can be used.

Notes 1. — In general, broadband detectors are convenient as they need not be tuned to the generator and the resonance device allows sufficient discrimination from external microwave interference. It should be borne in mind, however, that the input level at the detector is rather low and the screening which may be effective at microwave frequencies may not be sufficient at low frequencies; therefore, in an area with ambient interference a tuned receiver may be indispensable.

In any case, care should be taken to avoid earth-loops which may be formed by the power connections of the electronic equipment and the screens of the interconnecting waveguides.

2. — A receiver showing the quotient of two inputs, i.e. one stemming from the resonator and the other being derived from the generator, is advantageous as it avoids errors due to output variations of the generator.

3.2.2 Display devices are used with swept-frequency measurements. As only the rectified output of the resonator is shown, any general-purpose oscilloscope of sufficient sensitivity can be employed.

Note. — Dual-trace facilities (alternate mode of operation) are advantageous as they eliminate errors due to output variations of the generator.

3.3 A frequency meter of sufficient discrimination at the working frequency range.

3.4 A 3 dB-attenuation standard or a variable standard attenuator.

3.5 A resonator resonating at the desired frequency.

Note. — There may be no resonance device available commercially for obtaining optimum results with an arbitrary test problem. Therefore, it seems appropriate to give some general instructions on the construction of such resonators; details are given in Appendix A on the particular resonator types.

a) For ease of machining with the accuracy required, resonators of a circular cross-section are preferred.

b) For material testing purposes, modes of axial symmetry are used exclusively. Hence, with TEM- and TE_{0mn}-modes, resonators of length/diameter ratio close to unity offer optimum performance; for TM_{0mn}-modes, this ratio is in general close to zero.

- c) Les surfaces intérieures du résonateur doivent être planes au quart près de la profondeur de pénétration du champ électromagnétique à la fréquence de mesure. Le polissage est ainsi normalement nécessaire.
- d) Le laiton étant habituellement utilisé, on améliore les performances en revêtant d'argent ou d'or par galvanoplastie les surfaces intérieures (application à haute température) sur une épaisseur égale à environ quatre fois la profondeur de pénétration du champ électromagnétique. Aux fréquences élevées, on peut utiliser de l'argent massif pour le résonateur.
- e) Les contacts glissants amoindrissent la qualité du résonateur et, en particulier aux fréquences élevées, nuisent à la reproductibilité et à la précision du réglage. On doit donc les éviter dans toute la mesure du possible. Les parties amovibles, en particulier les couvercles des couvertures permettant d'introduire les éprouvettes, doivent être constituées de façon telle que leurs surfaces de contact ne soient pas traversées par le courant.
- f) Les organes de couplage doivent être conçus de façon à n'exciter que le mode d'oscillation désiré. Une variation de la rigidité du couplage ne doit pas affecter le facteur de qualité Q_u mesuré, le résonateur n'étant pas chargé (voir le paragraphe 5.2). A la résonance, un affaiblissement d'insertion du résonateur d'environ 40 dB peut être considéré comme adéquat.

4. Eprouvette

4.1 La forme de l'éprouvette doit satisfaire aux conditions posées par le résonateur et au mode d'oscillation à employer. On emploie, en général, des disques ou des tiges de section circulaire. Les règles particulières pour les différents types de résonateur sont données dans l'annexe A.

Notes 1. — Un ajustage étroit de l'éprouvette sur le résonateur est nécessaire sur les surfaces perpendiculaires aux lignes de champ électrique à moins que l'on ne puisse tenir suffisamment compte, par le calcul, de l'effet de cisaillement résultant. Cela est d'une importance particulière dans le cas des résonateurs coaxiaux (TEM) et des cavités TM.

- 2. — Les erreurs sur la permittivité qui sont dues à un interstice résiduel entre la surface de l'extrémité du résonateur et la surface adjacente de l'éprouvette sont négligeables si on emploie des éprouvettes d'épaisseur égale à une demi-onde.
- 3. — Les éprouvettes en forme de tige de faible permittivité et dont le diamètre d_s est faible (par rapport au diamètre d_0 de la cavité) peuvent être utilisées dans les résonateurs à cavité.

4.2 Les éprouvettes doivent être préparées conformément aux règles de la méthode d'essai particulière (voir l'annexe A) et à l'article 5 de la Publication 377-1.

5. Mode opératoire

Le mode opératoire est le suivant:

5.1 On introduit l'éprouvette dans le résonateur et on établit la résonance; on note alors la grandeur accordée (fréquence f_L ou longueur l_L respectivement).

5.2 On mesure la largeur de bande à demi-puissance δf_L du résonateur chargé en désaccordant le résonateur ou en modifiant la fréquence. Le facteur de qualité Q_L du résonateur chargé est donné par:

$$Q_L = \frac{f_L}{\delta f_L} = \frac{l_L}{\delta l_L}$$

5.3 On retire ensuite l'éprouvette du résonateur et on rétablit la résonance conformément au paragraphe 5.1 (cela donne f_u ou l_u respectivement).

5.4 Le facteur Q du résonateur non chargé se détermine conformément au paragraphe 5.2:

$$Q_u = \frac{f_u}{\delta f_u} = \frac{l_u}{\delta l_u}$$

Notes 1. — Le couplage avec le résonateur ne doit influencer la largeur de bande à demi-puissance pour aucun réglage individuel.

- 2. — On augmente la précision dans la détermination des réglages de résonance l ou f en faisant la moyenne des points à demi-puissance l_1 et l_2 ou f_1 et f_2 respectivement:

$$l = \frac{l_1 + l_2}{2} \quad \delta l = l_1 - l_2 \quad \text{avec } f = \text{constant}$$

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad \delta f = f_1 - f_2 \quad \text{avec } l = \text{constant}$$

- c) The inner surface of the resonator shall be flat to at least one-fourth of the penetration depth of the electromagnetic field at the working frequency. Thus, polishing will normally be necessary.
- d) As brass is usually used, the performance will be improved by electro-plating the inner surfaces with silver or gold (for high-temperature application) to a thickness of about four penetration depths of the electromagnetic field. At higher frequencies, bulk silver may be used for the resonator.
- e) Sliding contacts lower the quality of the resonator and, especially at the higher frequencies, adversely affect the reproducibility and accuracy of the setting. They should therefore be avoided whenever possible. Removable parts, in particular covers for openings for introducing the test specimen, should be designed so that their contacting surfaces are not traversed by current.
- f) Coupling elements should be designed so as to excite only the desired mode of oscillation. Variation of the coupling strength should not affect the measured unloaded quality Q_u (see Sub-clause 5.2). At resonance, an insertion loss of the resonator of about 40 dB may be considered as adequate.

4. Test specimen

4.1 The shape of the test specimen shall satisfy the conditions set by the resonator and the mode of oscillation to be used. In general, disks or rods of circular cross-section are used. The particular requirements for the different resonator types are given in Appendix A.

Notes 1. — Tight fitting of the specimen to the resonator is necessary at surfaces which are perpendicular to the lines of electric field unless the resulting shearing effect can be taken sufficiently into account by calculation. This is of special importance with coaxial (TEM) resonators and with TM-cavities.

- 2. — Errors in permittivity due to a residual gap between the end surface of the resonator and the adjacent surface of the specimen become negligible if specimens of halfwave thickness are used.
- 3. — Rod-shaped specimens of low permittivity and small diameter d_s (as compared with the cavity diameter d_0) may be used in cavity resonators.

4.2 The test specimens shall be prepared in accordance with the requirements of the particular test method (see Appendix A) and Clause 5 of Publication 377-1.

5. Testing procedure

The testing procedure is as follows:

5.1 The specimen is inserted into the resonator and resonance is established; the tuned quantity (frequency f_L or length l_L respectively) is then recorded.

5.2 The half-power bandwidth δf_L of the loaded resonator is measured by detuning either the resonator or changing the frequency. The Q -factor Q_L of the loaded resonator is given by:

$$Q_L = \frac{f_L}{\delta f_L} = \frac{l_L}{\delta l_L}$$

5.3 The specimen is then removed from the resonator and resonance is re-established in accordance with Sub-clause 5.1 (this yields f_u or l_u respectively).

5.4 The Q -factor of the unloaded resonator is determined in accordance with Sub-clause 5.2:

$$Q_u = \frac{f_u}{\delta f_u} = \frac{l_u}{\delta l_u}$$

Notes 1. — The coupling to and from the resonator shall not affect the measured half-power bandwidth for any single setting.

- 2. — Accuracy in determining the resonance settings l or f is increased by averaging the half-power points l_1 and l_2 or f_1 and f_2 respectively:

$$l = \frac{l_1 + l_2}{2} \quad \delta l = l_1 - l_2 \quad \text{with } f = \text{constant}$$

$$f = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad \delta f = f_1 - f_2 \quad \text{with } l = \text{constant}$$