

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Dielectric and resistive properties of solid insulating materials –
Part 2-2: Relative permittivity and dissipation factor – High frequencies
(1 MHz to 300 MHz) – AC methods**

**Propriétés diélectriques et résistives des matériaux isolants solides –
Partie 2-2: Permittivité relative et facteur de dissipation – Hautes fréquences
(1 MHz à 300 MHz) – Méthodes en courant alternatif**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee, ...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Dielectric and resistive properties of solid insulating materials –
Part 2-2: Relative permittivity and dissipation factor – High frequencies
(1 MHz to 300 MHz) – AC methods**

**Propriétés diélectriques et résistives des matériaux isolants solides –
Partie 2-2: Permittivité relative et facteur de dissipation – Hautes fréquences
(1 MHz à 300 MHz) – Méthodes en courant alternatif**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.99; 29.035.01

ISBN 978-2-8322-1096-7

**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.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Methods of test.....	8
4.1 Basic theory.....	8
4.2 Distinctive factors for the measurement in high frequency range	12
4.3 Power supply	13
4.4 Equipment	13
4.4.1 Accuracy	13
4.4.2 Distinctive feature of equipment for measurement in high frequency range.....	14
4.4.3 Choice of measurement methods.....	15
4.5 Calibration	16
4.6 Test specimen	16
4.6.1 General	16
4.6.2 Recommended dimensions of test specimen and electrode arrangements	16
4.6.3 Number of test specimens	16
4.6.4 Conditioning and pre-treatment of test specimen	16
4.7 Procedures for specific materials	17
5 Test procedure	17
5.1 General.....	17
5.2 Calculation of permittivity and relative permittivity	17
5.2.1 Relative permittivity.....	17
5.2.2 Dielectric dissipation factor $\tan \delta$	17
6 Report	17
7 Repeatability and reproducibility	18
Annex A (informative) Compensation method using a series circuit.....	19
Annex B (informative) Parallel electrodes with shield ring	20
Annex C (informative) Apparatus	21
C.1 Parallel T network bridge	21
C.2 Resonance method	22
C.3 I-V method designed for high frequencies	24
C.4 Auto-balancing bridge method.....	24
Annex D (informative) Non-contacting electrode method with micrometer-controlled parallel electrodes in air.....	26
Bibliography.....	28
Figure 1 – Dielectric dissipation factor	10
Figure 2 – Equivalent circuit diagrams with capacitive test specimen	11
Figure 3 – Equivalent parallel circuit for test fixture with sample and leads to equipment.....	12
Figure 4 – Existence of residual impedance and stray capacitance in directly connected system	15

Figure A.1 – Compensation method using a series circuit	19
Figure B.1 – Configuration of parallel electrode with shield ring	20
Figure C.1 – Parallel T network, principal circuit diagram.....	21
Figure C.2 – Parallel T network, practical circuit diagram.....	21
Figure C.3 – Principle of resonance method, circuit diagram (originally from Q meter)	23
Figure C.4 – Auto-balancing circuit	25
Figure D.1 – Non-contacting electrode method	27
Table 1 – Applicable frequency range in effective apparatus	16

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62631-2-2:2022

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**DIELECTRIC AND RESISTIVE PROPERTIES OF
SOLID INSULATING MATERIALS –****Part 2-2: Relative permittivity and dissipation factor –
High frequencies (1 MHz to 300 MHz) – AC methods****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.

IEC 62631-2-2 has been prepared by of IEC technical committee 112: Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
112/562/FDIS	112/565/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

A list of all parts in the IEC 62631 series, published under the general title *Dielectric and resistive properties of solid insulating materials*, can be found on the IEC website.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62631-2-2:2022

INTRODUCTION

Permittivity and dissipation factor ($\tan \delta$) are basic parameters for the quality of insulating materials. The dissipation factor depends on several parameters, such as environmental factors, moisture, temperature, applied voltage, and highly depends on frequency, the accuracy of measuring apparatus and other parameters applied to the measured specimen.

The frequency range measurable for permittivity and dissipation factor is highly limited by the design of the electrode system, dimension of the sample and impedance of the wiring lead. Special consideration should be given to the measurement in the high frequency range. This document focuses on the method for measurements of permittivity and dissipation factor in the high frequency range from 1 MHz to 300 MHz.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62631-2-2:2022

DIELECTRIC AND RESISTIVE PROPERTIES OF SOLID INSULATING MATERIALS –

Part 2-2: Relative permittivity and dissipation factor – High frequencies (1 MHz to 300 MHz) – AC methods

1 Scope

This part of IEC 62631 specifies test methods for the determination of permittivity and dissipation factor properties of solid insulating materials in a high frequency range from 1 MHz to 300 MHz.

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 60212, *Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>

3.1

solid electrical insulating material

solid with negligibly low electric conductivity, used to separate conducting parts at different electrical potentials

Note 1 to entry: The term "electrical insulating material" is sometimes used in a broader sense to designate also insulating liquids and gases. Insulating liquids are covered by IEC 60247 [1].

3.2

dielectric properties

comprehensive behaviour of an insulating material measured with an alternating current comprising the capacitance, absolute permittivity, relative permittivity, relative complex permittivity, dielectric dissipation factor

3.3

absolute permittivity

ϵ

electric flux density divided by the electric field strength

3.4 vacuum permittivity

ε_0

permittivity of a vacuum, which is related to the magnetic constant $\varepsilon_0\mu_0$ and to the speed of light in vacuum c_0 by the relation $\varepsilon_0\mu_0c_0^2 = 1$

3.5 relative permittivity

ε_r

ratio of the absolute permittivity to the permittivity of a vacuum ε_0

3.6 relative complex permittivity

ε_{r}

permittivity in a complex number representation, under steady sinusoidal field conditions

3.7 dielectric dissipation factor $\tan \delta$ (loss tangent)

numerical value of the ratio of the imaginary to the real part of the complex permittivity

3.8 capacitance

C

property of an arrangement of conductors and dielectrics which permits the storage of electrical charge when a potential difference exists between the conductors

3.9 voltage application

application of a voltage between electrodes

Note 1 to entry: Voltage application is sometimes referred to as electrification.

3.10 measuring electrodes

conductors applied to, or embedded in, a material to make contact with it to measure its dielectric or resistive properties

Note 1 to entry: The design of the measuring electrodes depends on the specimen and the purpose of the test.

4 Methods of test

4.1 Basic theory

Capacitance C is the property of an arrangement of conductors and dielectrics which permits the storage of electrical charge when a potential difference exists between the conductors.

C is the ratio of a quantity q of charge to a potential difference U . A capacitance value is always positive. The unit is farad when the charge is expressed in coulomb and the potential in volts.

$$C = \frac{q}{U} \quad (1)$$

The measured permittivity (formerly known as dielectric constant) ε of an insulating material is the product of its relative permittivity ε_r and the permittivity of a vacuum ε_0 :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \quad (2)$$

This general method describes common values for general measurements. If a method for a specific type of material is described in this document, the specific method shall be used.

The permittivity is expressed in farad per metre (F/m); the permittivity of vacuum ε_0 has the following value:

$$\varepsilon_0 = 8,854187817 \times 10^{-12} \quad (3)$$

Relative permittivity is the ratio of the absolute permittivity to the permittivity of a vacuum ε_0 .

In the case of constant fields and alternating fields of sufficiently low frequency, the relative permittivity of an isotropic or quasi-isotropic dielectric is equal to the ratio of the capacitance of a capacitor, in which the space between and around the electrodes is entirely and exclusively filled with the dielectric, to the capacitance of the same configuration of electrodes in vacuum.

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (4)$$

The relative permittivity ε_r of dry air, at normal atmospheric pressure, equals 1,000 59, so that in practice, the capacitances C_a of the configuration of electrodes in air can normally be used instead of C_0 to determine the relative permittivity ε_r with sufficient accuracy.

Relative complex permittivity is permittivity in a complex number representation under steady sinusoidal field conditions expressed as

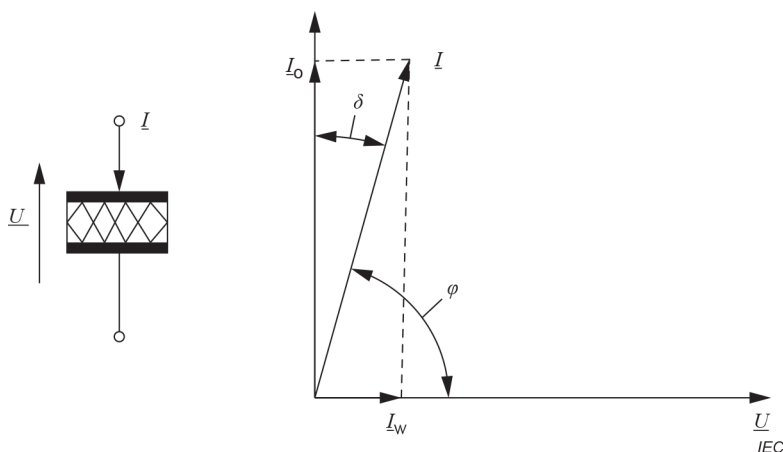
$$\underline{\varepsilon}_r = \varepsilon_r' - j\varepsilon_r'' = |\varepsilon_r| e^{-j\delta} \quad (5)$$

where ε_r' and ε_r'' have positive values.

NOTE 1 The complex permittivity $\underline{\varepsilon}_r$ is customarily quoted either in terms of ε_r' and ε_r'' , or in terms of ε_r and $\tan \delta$.

NOTE 2 ε_r'' is termed loss index.

The dielectric dissipation factor $\tan \delta$ (loss tangent) is the numerical value of the ratio of the imaginary to the real part of the complex permittivity.



Key

$\underline{U}$ applied voltage

$\underline{I}$ current

I_w real part of current

I_o imaginary part of current

φ phase difference between applied voltage and current

δ subtracted angle of φ from $\frac{\pi}{2}$

Figure 1 – Dielectric dissipation factor

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'} \quad (6)$$

Thus, the dielectric dissipation factor $\tan \delta$ of an insulating material is the tangent of the angle δ by which the phase difference φ between the applied voltage and the resulting current deviates from $\pi/2$ rad when the solid insulating material is exclusively used as dielectric in a capacitive test specimen (capacitor), compared with Figure 1. The dielectric dissipation factor can also be expressed by an equivalent circuit diagram using an ideal capacitor with a resistor in series or parallel connection (see Figure 2).

$$\tan \delta = \omega C_s \times R_s = \frac{1}{\omega C_p \times R_p} \quad (7)$$

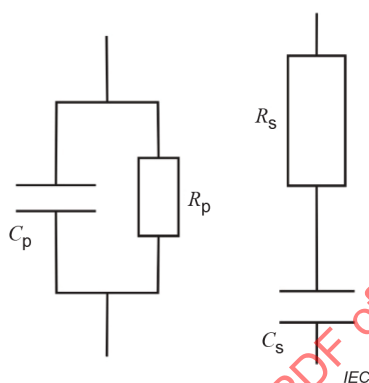
with

$$\frac{C_p}{C_s} = \frac{1}{1 + \tan^2 \delta} \quad (8)$$

and

$$\frac{R_p}{R_s} = 1 + \frac{1}{\tan^2 \delta} \quad (9)$$

NOTE 3 R_s and R_p respectively are not directly related to but affected by the volume and the surface resistance of an insulating material. Therefore, the dielectric dissipation factor can also be affected by these resistive materials properties.



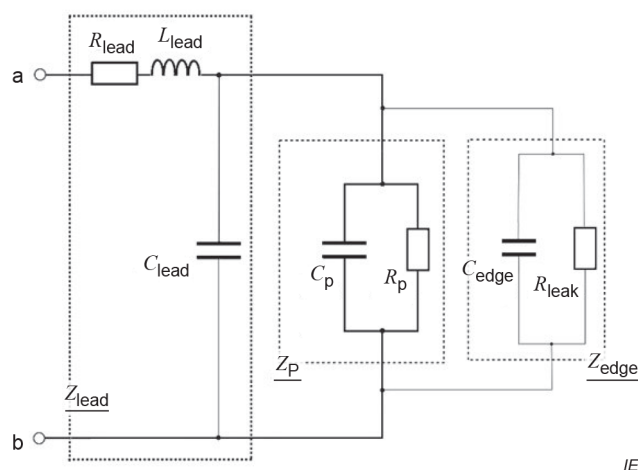
Key

C_p and R_p capacitance and resistance for equivalent parallel circuit, respectively

C_s and R_s capacitance and resistance for equivalent series circuit, respectively

Figure 2 – Equivalent circuit diagrams with capacitive test specimen

This general method describes common values for general measurements. If a method for a specific type of material is described in this document, the specific method shall be used.



Key

a and b	terminals
C_p , R_p and Z_p	capacitance, resistance and impedance for equivalent parallel circuit with sample P, respectively
R_{lead} , L_{lead} , C_{lead} and Z_{lead}	Z_{lead} is the impedance due to the residual resistance R_{lead} and residual inductance L_{lead} existing with leads from the equipment to the test fixture. The stray capacitor, C_{lead} is the stray capacitor involved in Z_{lead}
C_{edge} , R_{leak} and Z_{edge}	Z_{edge} is the impedance due to the edge capacitance of the electrode and leakage resistance on sample and insulators of the electrode fixture

Figure 3 – Equivalent parallel circuit for test fixture with sample and leads to equipment

The measurement of permittivity and dielectric dissipation factor shall be made taking into consideration the electric properties of the measuring circuit as well as the specific electric properties of the material. To carry out the test, in most cases, the use of high voltage is necessary. Care should be taken to prevent any electric shock.

The basic principles of apparatus and methods are not described here. Some references to the literature are given in the bibliography of IEC 62631-2-1 [2]¹.

4.2 Distinctive factors for the measurement in high frequency range

Figure 3 shows an equivalent parallel circuit comprising an electrode system with a sample and wiring leads from terminals a and b.

The impedance of C_p , $\frac{1}{j\omega C_p}$, decreases when the frequency is increased, which causes the increase in current through C_p in the high frequency range. When the frequency is increased from 100 kHz to 100 MHz, the current through C_p increases 1 000 times more than that at 100 kHz. This causes a decrease of accuracy in the obtained results.

¹ Numbers in square brackets refer to the bibliography.

The impedances due to the inductance of leads (L_{lead}), and the stray capacitance (C_{lead}) also depend on the frequency. That kind of impedance can be ignored in the measurements in the low frequency range. In the high frequency range, on the other hand, the effect of the impedance of Z_{edge} on the measured values cannot be ignored and causes errors in the measured results.

The impedance due to Z_{edge} is also a significant factor in the high frequency range. R_{leak} which is independent of the frequency could be negligible, because the leakage current on the sample surface is much smaller than the current through the edge capacitance in the high frequency range.

In the low frequency range, as described in IEC 62631-2-1, effective guarding and shielding should be applied to avoid measurement errors resulting from the stray capacitance and the residual impedance. In the frequency range higher than 100 kHz, however, the current through the guard and shielding are significant in comparison with the current through the specimen in the lower frequency range. Furthermore, care should be taken to prevent any electromagnetic interference (EMI) during measurements in the radio frequency range.

NOTE 1 Since the impedance of a capacitor is inversely proportional to frequency, at high frequencies it is essentially acting as a wire.

NOTE 2 The stray capacitance is the additional capacitance which exists in parallel with the capacitance of the test specimen. The stray capacitance also exists between the ground and a lead line connecting a terminal of an equipment to an electrode.

NOTE 3 The residual impedance is the impedance existing in series with the impedance of the test specimen. The residual impedance includes an impedance of the electrode produced on the surface of the specimen (e.g. by evaporation), and a lead line for the connection between a terminal of an instrument and an electrode.

4.3 Power supply

The power source shall provide a stable sinusoidal voltage. For the measuring duration the measured value of the supplied voltage shall be maintained within $\pm 5\%$.

The voltage wave shape shall approximate to a sinusoid with the difference between the magnitudes of the positive and negative peak values being less than 2 %.

The deviation from the sinusoidal shape (the ratio of peak to RMS values equals $\sqrt{2}$) shall be within $\pm 5\%$.

Preferred voltages are 0,1 V; 0,5 V; 10 V; 100 V; 500 V; 1 000 V; 2 000 V. Other voltage levels shall be documented in the report.

NOTE 1 Higher voltages can be applicable in order to perform tests at operating field strength.

NOTE 2 Partial discharge can lead to erroneous measurements when a specific inception voltage is exceeded. In air, below 340 V, no partial discharges will occur at atmospheric pressure.

4.4 Equipment

4.4.1 Accuracy

The measuring device should be capable of determining the unknown permittivity and dielectric dissipation factor in accordance with the expected material properties. The accuracy of the measuring system shall be documented in the report.

NOTE The user can choose the measuring system accuracy according to the requirements of the measuring results.

4.4.2 Distinctive feature of equipment for measurement in high frequency range

4.4.2.1 General

As described in 4.2, the impedances of Z_{lead} and Z_{edge} in Figure 3 significantly affect the accuracy of the measured data in the frequency range higher than 1 MHz. To avoid a significant decrease in the accuracy, the following recommendations should be taken into account:

- a disc type specimen with a small area of flat surface and considerably thick (see 4.6.2);
- small residual impedance of the measuring circuit;
- small residual impedance of the two-terminal electrode system;
- usage of a high reliability conductance and capacitance for the reference.

The impedance of Z_P in Figure 3 decreases in the high frequency range, so that a sufficient quantity of current through Z_P can be obtained even under a low voltage application. The three-terminal electrode, which includes a guard ring (IEC 62631-2-1:2018, Figure 3), results in the increase in the edge capacitance (C_{edge} in Figure 3). C_{edge} becomes significantly large in comparison with the capacitance of the sample (C_p) when the area of the cylindrical electrode surface is diminished. Accordingly, an electrode without the guard ring should be used in the high frequency range measurement. The leakage current on the sample surface, R_{leak} is independent of frequency and reaches small value as a result of the low voltage application. Therefore, the resistance R_{leak} of the two-terminal electrode does not affect significantly the accuracy of the measured value even in the high frequency range.

The compensation method should be used to eliminate the stray capacitance and residual impedance, which requires the use of highly reliable conductance and capacitance as reference.

4.4.2.2 Two-terminal electrode system

As described in 4.4.2.1, the electrode system without guard ring electrode (i.e. two-terminal electrode system) is generally used in the high frequency range measurement. The thickness of the electrode should be sufficiently smaller than that of the specimen to prevent the increase in the stray capacitance around the electrode. For example, the thickness of electrode should be smaller than 1 mm for a specimen with a thickness of 5 mm.

When the capacitance of the specimen is measured using the two-terminal electrode system, the measured capacitance should be compensated by the calculation of the edge effect (see IEC 62631-2-1:2018, Annex A).

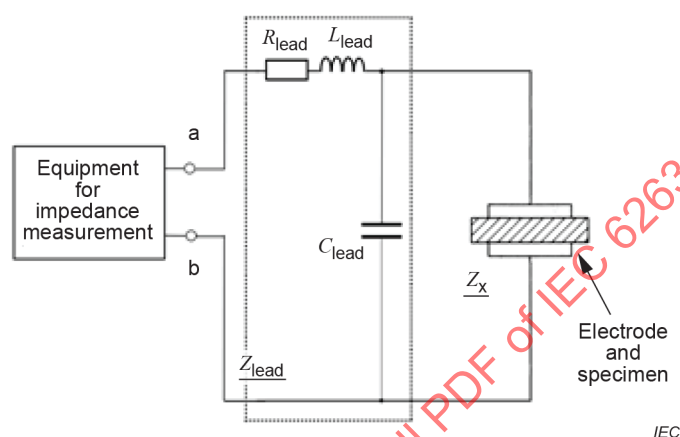
The parallel electrodes with a shield ring are an effective arrangement of electrodes to diminish the edge effect in the measurements in the high frequency range, and is described in Annex B.

4.4.2.3 Guarding

Guarding is effective to eliminate errors due to the stray leakage current for the measurement in the low frequency range as indicated in IEC 62631-2-1. However, the guarding of the lead wiring from the equipment to the electrode system increases the capacitance, C_{lead} , as shown in Figure 3. The impedance due to C_{lead} and the admittance due to C_{lead} increase with the rise in frequency, which results in the decrease in the voltage applied to the electrode system. The insufficient current through the electrode system makes the accuracy of results low. For this reason, guarding should not be applied in most cases of the high frequency range measurement.

4.4.2.4 Compensation method for elimination of stray capacitance and residual impedance

In the low frequency range, the equipment for impedance measurement is often directly connected to the electrode system with specimen, as shown in Figure 4. The residual impedance in the lead line between the electrode system and terminal (between a and b) is involved in the measured value when the directly connected system is used. The stray capacitance is also involved in that case. In the high frequency range, however, the residual and stray impedances are not negligible in the measurement. The compensation method should be applied in order to eliminate the effects of stray capacitance and residual impedance in the high frequency range. An example of the compensation method using the series circuit system is given in Annex A.



Key

a and b terminals

R_{lead} , L_{lead} , C_{lead} and Z_{lead} Z_{lead} is the impedance due to the residual resistance R_{lead} and residual inductance L_{lead} existing with leads from the equipment to the test fixture. C_{lead} is the stray capacitor involved in Z_{lead}

Z_x equivalent impedance of sample

Figure 4 – Existence of residual impedance and stray capacitance in directly connected system

4.4.3 Choice of measurement methods

The measurement methods used for the high frequency range can be divided into three groups:

- null method (balancing method);
- resonance method;
- I-V method.

The resonance method can be used in the range from 10 kHz to several 100 MHz. It is based on the measurement of voltage appearing across a resonant circuit when a small known voltage is induced in it. The method can accomplish the measurement up to the frequency near 300 MHz when used in combination with the non-contacting electrode method. These methods cannot easily be adapted when a guard electrode is used.

The null method and impedance analyser method are introduced in IEC 62631-2-1:2018, 4.3.2.2 and 4.3.2.3, respectively.

The apparatus used for the measurements in the frequencies higher than 10 MHz are shown in Table 1. It is necessary to use the two-terminal electrode system. These apparatuses are introduced in Annex C.

Table 1 – Applicable frequency range in effective apparatus

Effective apparatus	Measuring group	Applicable frequency range
Parallel T networks method	Null method	1 MHz to 150 MHz
Resonant circuit	Resonance method	10 kHz to 300 MHz
Impedance analyser	I-V method	20 Hz to 300 MHz ^a
Auto balancing bridge	Null method	20 Hz to 120 MHz

^a Specially designed for a measurement in high frequency (Clause C.3).

4.5 Calibration

The equipment shall be calibrated using a standard load accurately known.

4.6 Test specimen

4.6.1 General

To measure the permittivity and dissipation factor of a material, a sheet specimen is preferable.

4.6.2 Recommended dimensions of test specimen and electrode arrangements

For the high frequency measurement, the impedance due to the capacitance of the electrode system with specimen is so low that a small area of electrode surface and large thickness of specimen are recommended. An adequate diameter of electrode is about 30 mm and an adequate thickness of specimen appropriately ranges from 0,3 mm to 5,0 mm. The edge effect correction should be required in the two-terminal electrode system (see IEC 62631-2-1:2018, Annex A). In the case of thin film, the specimen is formed by the films with multiple layers.

It is possible that the two-terminal electrodes with a shield ring will not require the edge effect correction, when the diameter of specimen is larger than that of the electrode by two times the specimen's thickness or more. The shield ring is introduced in Annex B.

The conductive thin film electrode on the specimen, such as silver paint, evaporated metal film and metal foil, should not be used in the high frequency range, because this kind of conductive thin films involves an inductive component. The non-contacting electrode method should be used instead. This method does not require thin film electrodes, but still solves the airgap effect. The non-contacting electrode method and fluid displacement method are introduced in Annex D.

4.6.3 Number of test specimens

The number of specimens to be tested shall be determined by the relevant product standards. If no such data is available, at least three specimens shall be tested.

4.6.4 Conditioning and pre-treatment of test specimen

Conditioning and any other pre-treatment of the test specimen shall be done according to the relevant product standard. If no product standard exists, conditioning shall be done for at least four days at 23 °C and 50 % RH according to IEC 60212 (standard climate B).

4.7 Procedures for specific materials

Procedures for specific materials are described in material specifications. If a specific procedure for a specified material exists, this specification shall be used. The measuring procedure including preparation of the test specimen shall be described in the report.

5 Test procedure

5.1 General

General recommendations concerning the preparation of the sample in the test procedure are described in IEC 62631-2-1:2018, 5.1.

5.2 Calculation of permittivity and relative permittivity

5.2.1 Relative permittivity

After the measurements of C_x and C_0 , the relative permittivity ε_r can be calculated using Formula (10).

$$\varepsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \quad (10)$$

where C_x is the capacitance of the test specimen, in which the space between the two electrodes is entirely and exclusively filled with the insulating material in question, and C_0 is the capacitance of the same configuration of electrodes in vacuum.

5.2.2 Dielectric dissipation factor $\tan \delta$

The dielectric dissipation factor, $\tan \delta$, shall be calculated from the measured values in accordance with Formula (11).

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega C_p \times R_p} \quad (11)$$

6 Report

The report shall include the following:

- name, identification, material specification, colour, source and manufacturer's code for the specimen;
- shape and dimensions of the test specimen and test fixture;
- temperature of the test specimen and relative humidity of the environment;
- curing conditions of the specimen and any pre-treatment;
- number of tests, describing the procedure;
- test method and measurement circuit used;
- manufacturer's instrument identification and accuracy of test equipment;
- location and date of testing;
- ambient temperature, relative humidity and air pressure;

- test voltage;
- test frequency;
- electrode arrangement and type of electrode applied to the sample used;
- mechanical electrode pressure in Pascal (if applicable);
- number of specimens;
- date and time of test;
- each single value and the average of permittivity and dielectric loss factor respectively;
- any other important observations, if applicable;
- values of parallel capacitance, relative permittivity and dielectric dissipation factor with estimated accuracy, error correction of effective area of specimen and the values calculated from them as loss index and loss angle (The mean value shall be given, if multiple tests on one sample are made, in relation to temperature and frequency. Not all are necessary or even appropriate in all cases.).

7 Repeatability and reproducibility

In general, the repeatability and reproducibility of the measurements in the high frequency range are lower than those in the measurements in the low frequency range.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62631-2-2:2022

Annex A (informative)

Compensation method using a series circuit

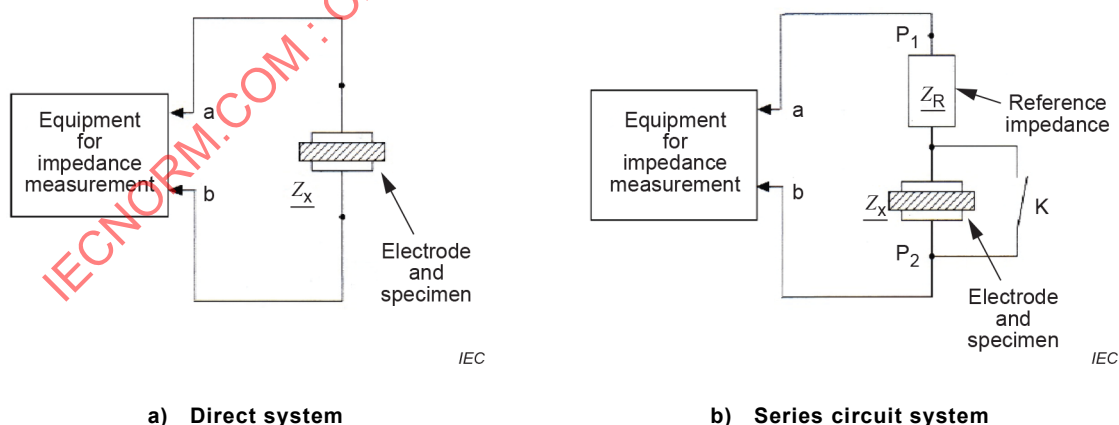
As described in 4.4.2.4, the residual impedance and the stray capacitance are involved in the measured value when the directly connected system is used (Figure A.1 a)).

The compensation method using a series circuit is shown in Figure A.1 b). At first, the value of the reference impedance (Z_R), is measured keeping the switch K closed. The measured value is designated as $Z_{R(K:close)}$. Then, K is switched to open. After K is open, an impedance between P_1 and P_2 is compensated to the same value as $Z_{R(K:close)}$ by adjusting the reference impedance Z_R . The adjusted value is designated as $Z_{R(K:open)}$. The impedance of the specimen with electrode (Z_x) can be obtained by Formula (A.1).

$$Z_x = Z_{R(K:open)} - Z_{R(K:close)} \quad (A.1)$$

In this method, the equipment for impedance measurement is used only to obtain the impedance between P_1 and P_2 . Therefore, the obtained impedance Z_x does not include the residual impedance of the lead wiring. This compensation method can be used in the frequency range up to several 100 MHz.

NOTE A compensation method with a parallel circuit system is improper in the high frequency range, because the current flowing through each element of the parallel component before the compensation is not the same as that after the compensation, even though the combined impedances of the parallel elements before and after the compensation are the same.



Key

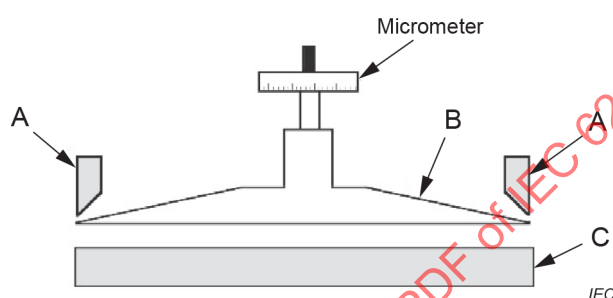
a, b and P_1 , P_2	terminals
Z_R	reference impedance
Z_x	impedance of sample
K	switch

Figure A.1 – Compensation method using a series circuit

Annex B (informative)

Parallel electrodes with shield ring

Figure B.1 shows a configuration of parallel electrodes with shield ring. The high voltage electrode (B) is a disk shape with a knife edge. The shield ring (A) is set 0,5 mm above the high voltage electrode. When a diameter of the high voltage electrode is 30 mm, the edge effect is diminished to 1/20 of the effect in the electrode system without shield ring. The shield ring can almost eliminate the edge effect in the two-terminal electrode system. This arrangement of the electrode can be useful for the measurements of the permittivity and the dissipation factor in the frequency range from 500 kHz to 200 MHz.



Key

A: shield ring connected to ground level

B: high voltage electrode

C: counter electrode connected to ground level

An insulating specimen is inserted between the high voltage and counter electrodes.

Figure B.1 – Configuration of parallel electrode with shield ring

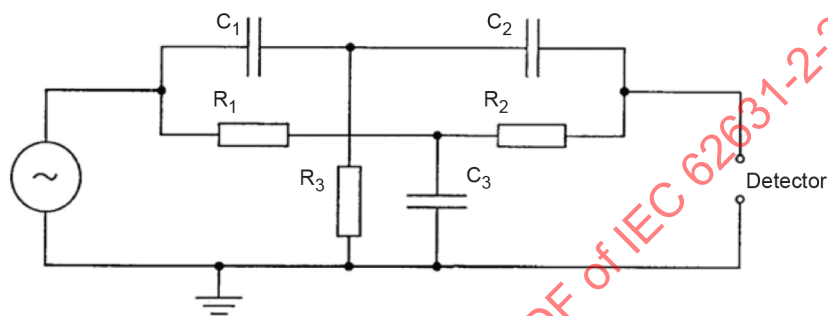
Details of the method are given in [3], [4] and [5].

Annex C (informative)

Apparatus

C.1 Parallel T network bridge

Parallel T networks are bridge circuits in which the currents flowing from the oscillator to the detector through two T networks are equal and opposite at the detector input. In such a circuit, the oscillator and detector can each have one terminal connected to earth; and in some of the possible circuit, the specimen and each of the variable components used for balancing also have a terminal connected to earth.



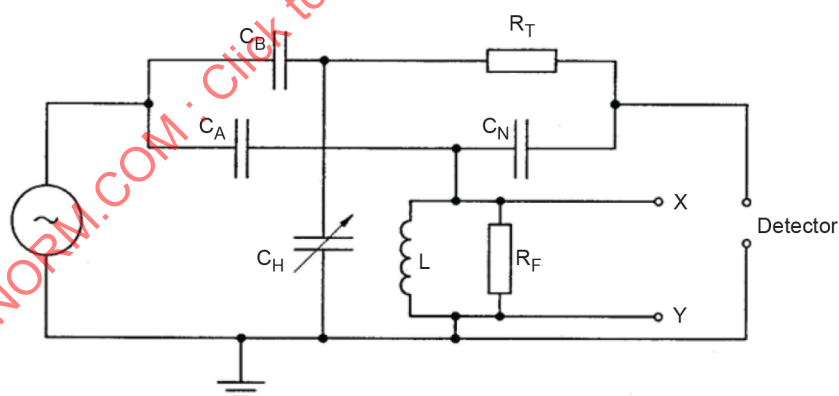
IEC

Key

C_1, C_2, C_3 capacitors (F)

R_1, R_2, R_3 resistors (Ω)

Figure C.1 – Parallel T network, principal circuit diagram



IEC

Key

C_A, C_B, C_N, C_H capacitors (F)

L inductor (H)

R_F, R_T resistors (Ω)

X, Y terminals

Figure C.2 – Parallel T network, practical circuit diagram

Figure C.1 shows the simplest parallel-T circuit, using resistors and capacitors only. The circuit more commonly used for the measurements on dielectrics is in principle that of Figure C.2, for which balance conditions are (with terminals X, X open):

$$\frac{1}{C_A} + \frac{1}{C_N} + \frac{1}{C_B} = \frac{1}{\omega^2 C_A C_N L} \quad (C.1)$$

$$R_T \left(1 + \frac{C_H}{C_B} \right) = \frac{1}{\omega^2 C_A C_N R_F} \quad (C.2)$$

In practice, a variable capacitor is connected to the terminals X, X, and its capacitance C_V and conductance modify the apparent values of L and R_F . The circuit is balanced in this condition; the specimen is then also connected to the terminals X, Y and balance is regained by varying the capacitance C_V and C_H .

Then

- 1) the capacitance of the specimen equals the decrease ΔC_V of C_V ;
- 2) the conductance G of the specimen is:

$$G = \frac{\omega^2 C_A C_N R_T}{C_B} \times \Delta C_H \quad (C.3)$$

The dissipation factor $\tan \delta$ of the specimen is:

$$\tan \delta = \frac{\omega C_A C_N R_T}{C_B} \times \frac{\Delta C_H}{\Delta C_V} \quad (C.4)$$

where

ΔC_H is the increase of C_H .

These networks can be conveniently constructed for the frequency range 50 kHz to 150 MHz. A serious disadvantage is that the balance is strongly sensitive to frequency, so that harmonics of the supply frequency are badly unbalanced. To cover a wide range of frequencies, components shall be changed or switched. At the highest frequencies, the impedance of connecting wires and of switches (if used) can introduce significant errors if the compensation measurement method is not introduced.

C.2 Resonance method

The resonance method is used in the frequency range from 10 kHz to several 100 MHz. It is based on the measurement of voltage appearing across a resonant circuit when a small known voltage is induced in it. Figure C.3 shows the usual form of the circuit, in which the resonant circuit is coupled to the oscillator by means of a common resistance R_o . Other methods of coupling are equally acceptable.

When the procedure is to adjust the circuit voltage or current, at the required frequency, to a known value, the resonance circuit is tuned by adjusting the variable capacitor, and the new value of voltage, U_1 , is observed.

When the specimen is connected and the circuit re-tuned, the total capacitance remains nearly constant, provided that $R_L G \ll 1$ (see Figure C.3). The capacitance of the specimen is therefore approximately ΔC , the change of capacitance of the variable capacitor.

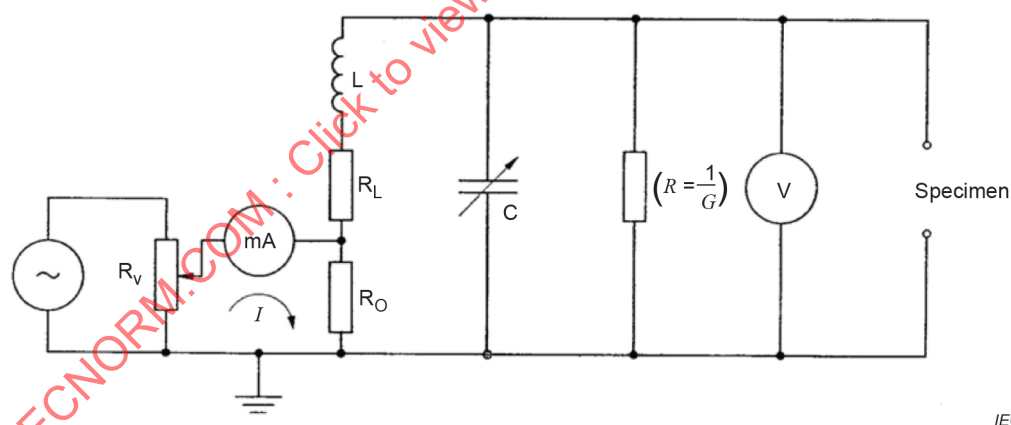
The dissipation factor of the specimen is approximately equal to:

$$\tan \delta \approx \frac{C_1}{\Delta C} \left(\frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_0} \right) \quad (\text{C.5})$$

where C_1 is the total capacitance in the circuit including that of the voltmeter and the self-capacitance of the inductor, and Q_1 , Q_0 are the values of Q respectively with and without the specimen connected.

The main source of error in the method is in the calibrations of the two indicating instruments and in the unwanted impedances introduced in the wiring, especially between the variable capacitor and specimen. For high values of dissipation factor, it is possible that the condition $R_L G \ll 1$ will not hold, and the approximate equation given in Formula (C.5) then fails.

The method can accomplish the measurement up to the frequency of 300 MHz when used in combination with the non-contacting electrode method.



Key

R_v variable resistor

R_L , R_o , R resistors (Ω) $\left(R = \frac{1}{G} \right)$

L inductor (H)

C capacitor (F)

V voltmeter

I current

**Figure C.3 – Principle of resonance method, circuit diagram
(originally from Q meter)**

C.3 I-V method designed for high frequencies

With this method, an impedance of the specimen (Z_x) can easily be obtained from the voltage (U) between Z_x and the current (I) through Z_x . However, the frequency range is limited by the impedance due to the lead (Z_{lead} in Figure 3).

The frequency range can be expanded to a value higher than 300 MHz, if an impedance matching technology of the measurement circuit is applied using a coaxial cable having the characteristic impedance of 50 Ω . The careful arrangements of connections between the measurement circuit and electrode system with specimen are also required for the expansion of the frequency range. This type of instrument is commercially available and the instruction sheet for this method is uploaded by the manufacturer.

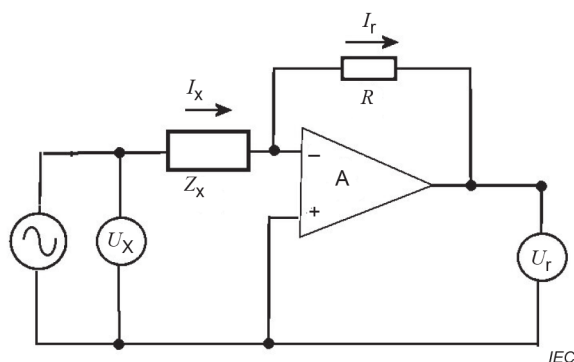
C.4 Auto-balancing bridge method

Figure C.4 shows the fundamental circuit of an auto-balancing bridge. The current I_x balances with the current I_r which flows through the range resistor (R_r), by operation of the I-V converter. The potential at the low point is maintained at zero volts (thus called a virtual ground). The impedance of the device under test (DUT) is calculated using the voltage measured at the high terminal (U_x) and across R (U_r).

NOTE In practice, the configuration of the auto-balancing bridge differs for each type of instrument. Generally, an LCR meter, in a low frequency range typically below 100 kHz, employs a simple operational amplifier for its I-V converter. This type of instrument has a disadvantage in accuracy at high frequencies because of the performance limits of the amplifier. Wideband LCR meters and impedance analysers employ the I-V converter consisting of sophisticated null detector, phase detector, integrator (loop filter), and vector modulator to ensure a high accuracy for a broad frequency range over 1 MHz. This type of instrument can reach a maximum frequency of 120 MHz.

$$\frac{U_x}{Z_x} = I_x = I_r = \frac{U_r}{R} \quad (\text{C.6})$$

$$Z_x = \frac{U_x}{I_x} = R \frac{U_x}{U_r} \quad (\text{C.7})$$

**Key**

I_r	current through R
I_x	current through Z_x
R	resistance
Z_x	impedance of sample
U_x, U_r	input and output voltage, respectively
A	amplifier

Figure C.4 – Auto-balancing circuit

The auto-balancing bridge method uses the virtual ground characteristics of an operational amplifier (OP-amp). The voltage difference between the low and high input points of the amplifier is always maintained to zero volts in the inverting amplifier circuit using the OP-amp. However, the measurable frequency range will differ appreciably according to the manufacturer of the instrument.

Annex D (informative)

Non-contacting electrode method with micrometer-controlled parallel electrodes in air

This method does not require the formation of thin film electrodes on a specimen, but still solves the airgap effect. Permittivity is derived by using the results of two capacitance measurements obtained with and without specimen (Figure D.1).

This method is a compensation measurement method with a series circuit and can be applicable in the frequency range up to a few 100 MHz using the resonance method for high frequency with micrometer-controlled parallel electrodes of the two-terminal system in air.

Specimens of sufficiently low surface conductivity can be tested without the thin film electrodes by inserting them in an electrode system in which there is an intentional gap, occupied by air or liquid on one or both sides of the specimen.

As shown in Figure D.1 a), a specimen is inserted between two parallel plane electrodes. An air gap, $d_1 - t$, is adjusted to 100 μm to 200 μm . Its capacitance and dissipation factor (C_1 and $\tan \delta_1$) are measured. After the measurement, the specimen is removed and the capacitance is adjusted to the same value as that with the specimen by diminishing the electrode distance (Figure D.1 b)).

The relative permittivity and dissipation factor of the specimen are obtained by Formulae (D.1) and (D.2):

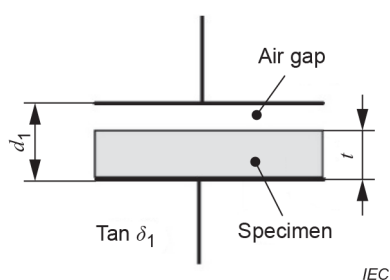
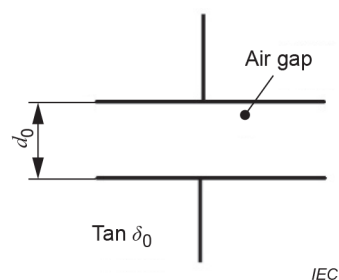
$$\epsilon_r = \frac{t}{t - \Delta d_A} \quad (\text{D.1})$$

$$\tan \delta = \frac{d_0}{t - \Delta d_A} \Delta \tan \delta \quad (\text{D.2})$$

where

$$\Delta d_A = d_1 - d_0$$

$$\Delta \tan \delta = \tan \delta_1 - \tan \delta_0$$

**a) Electrodes with specimen****b) Electrodes without specimen****Key**

d_1 distance between electrodes when the specimen is inserted

d_0 distance between electrodes when the specimen is removed

t thickness of the specimen

Figure D.1 – Non-contacting electrode method

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62631-2-2:2022

Bibliography

- [1] IEC 60247, *Insulating liquids – Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor ($\tan \delta$) and d.c. resistivity*
- [2] IEC 62631-2-1:2018, *Dielectric and resistive properties of solid insulating materials – Part 2-1: Relative permittivity and dissipation factor – Technical frequencies (0,1 Hz to 10 MHz) – AC methods*
- [3] KAKIMOTO, A., OCHI, M., and MATSUSHITA, T. Precise measurement of dielectric properties at very high frequencies. *Rev. Sci. Instrum*, 1975, vol. 46, No. 10, p.1338-1341
- [4] KAKIMOTO, A., OGAWA, I., and MATSUSHITA, T. Improvements on the measurements of dielectric constant and dissipation factor in a wide frequency range. *Rev. Sci. Instrum*, 1977, vol. 48, No. 12. p.1570-1575
- [5] KAKIMOTO, A., ETOH, A., HIRANO, K., and NONAKA, S. Precise measurement of dielectric properties at frequencies from 1 kHz to 100 MHz. *Rev. Sci. Instrum*, 1987, vol. 58, No. 2, p. 269-275

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62631-2-2:2022

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62631-2-2:2022

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	32
INTRODUCTION.....	34
1 Domaine d'application	35
2 Références normatives	35
3 Termes et définitions	35
4 Méthodes d'essai	36
4.1 Principes de base	36
4.2 Facteurs distinctifs pour les mesurages dans la plage des hautes fréquences	40
4.3 Alimentation électrique.....	41
4.4 Matériel	42
4.4.1 Exactitude	42
4.4.2 Caractéristique distinctive du matériel pour les mesurages dans la plage des hautes fréquences	42
4.4.3 Choix des méthodes de mesurage	44
4.5 Etalonnage	44
4.6 Epreuve	44
4.6.1 Généralités	44
4.6.2 Dimensions recommandées pour les éprouvettes et les montages d'électrodes	44
4.6.3 Nombre d'éprouvettes.....	45
4.6.4 Conditionnement et prétraitement de l'éprouvette	45
4.7 Procédures pour matériaux spécifiques.....	45
5 Procédure d'essai.....	45
5.1 Généralités	45
5.2 Calcul de la permittivité et de la permittivité relative.....	45
5.2.1 Permittivité relative.....	45
5.2.2 Facteur de dissipation diélectrique $\tan \delta$	46
6 Rapport	46
7 Répétabilité et reproductibilité	46
Annexe A (informative) Méthode de compensation avec un circuit en série	47
Annexe B (informative) Electrodes en parallèle avec un anneau de protection	48
Annexe C (informative) Appareillages	49
C.1 Pont de réseau en T parallèle	49
C.2 Méthode par résonance	50
C.3 Méthode I-V conçue pour les hautes fréquences.....	52
C.4 Méthode par pont autoéquilibré	52
Annexe D (informative) Méthode d'électrodes sans contact dans l'air avec électrodes en parallèle contrôlées par un micromètre	54
Bibliographie.....	56
Figure 1 – Facteur de dissipation diélectrique	38
Figure 2 – Schémas de circuits équivalents avec une éprouvette capacitive	39
Figure 3 – Circuit en parallèle équivalent pour le montage d'essai avec un échantillon et des conducteurs reliés au matériel	40

Figure 4 – Existence d'une impédance résiduelle et d'une capacité parasite dans le système directement connecté.....	43
Figure A.1 – Méthode de compensation avec un circuit en série	47
Figure B.1 – Configuration d'électrodes en parallèle avec un anneau de protection	48
Figure C.1 – Réseau en T parallèle – Schéma de circuit principal	49
Figure C.2 – Réseau en T parallèle – Schéma de circuit pratique	49
Figure C.3 – Principe de la méthode par résonance – Schéma de circuit (généralement avec un acuímètre)	52
Figure C.4 – Circuit autoéquilibrer	53
Figure D.1 – Méthode d'électrodes sans contact	55
Tableau 1 – Plage de fréquences applicable dans les appareillages efficaces	44

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62631-2-2:2022

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROPRIÉTÉS DIÉLECTRIQUES ET RÉSISTIVES DES MATÉRIAUX ISOLANTS SOLIDES –

Partie 2-2: Permittivité relative et facteur de dissipation – Hautes fréquences (1 MHz à 300 MHz) – Méthodes en courant alternatif

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.

L'IEC 62631-2-2 a été établie par le comité d'études 112 de l'IEC: Evaluation et qualification des systèmes et matériaux d'isolement électrique. Il s'agit d'une Norme internationale.

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

Projet	Rapport de vote
112/562/FDIS	112/565/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62631, publiées sous le titre général *Propriétés diélectriques et résistives des matériaux isolants solides*, se trouve sur le site web de l'IEC.

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 webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62631-2-2:2022

INTRODUCTION

La permittivité et le facteur de dissipation ($\tan \delta$) sont les paramètres élémentaires pour évaluer la qualité des matériaux isolants. Le facteur de dissipation dépend considérablement des fréquences, de l'exactitude de l'appareillage de mesure et d'autres paramètres appliqués au spécimen mesuré et, dans une moindre mesure, de plusieurs paramètres comme les facteurs liés à l'environnement, l'humidité, la température et la tension appliquée.

La plage de fréquences mesurable pour la permittivité et le facteur de dissipation est très limitée par la conception du système d'électrodes, les dimensions de l'échantillon et l'impédance du fil conducteur. Il convient d'accorder une attention particulière aux mesurages dans la plage des hautes fréquences. Le présent document traite de la méthode de mesurage de la permittivité et du facteur de dissipation dans la plage des hautes fréquences de 1 MHz à 300 MHz.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62631-2-2:2022

PROPRIÉTÉS DIÉLECTRIQUES ET RÉSISTIVES DES MATÉRIAUX ISOLANTS SOLIDES –

Partie 2-2: Permittivité relative et facteur de dissipation – Hautes fréquences (1 MHz à 300 MHz) – Méthodes en courant alternatif

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62631 spécifie les méthodes d'essai pour déterminer les propriétés de la permittivité et du facteur de dissipation de matériaux isolants solides dans la plage des hautes fréquences de 1 MHz à 300 MHz.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils 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 60212, *Conditions normales à observer avant et pendant les essais de matériaux isolants électriques solides*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

3.1

matériau isolant électrique solide

solide de conductivité électrique faible pratiquement négligeable, utilisé pour séparer des pièces conductrices portées à des potentiels différents

Note 1 à l'article: Le terme "matériau isolant électrique" est parfois utilisé dans un sens plus large pour désigner également les isolants liquides et gazeux. Les isolants liquides sont traités dans l'IEC 60247 [1].

3.2

propriétés diélectriques

comportement global d'un matériau isolant mesuré avec un courant alternatif qui comprend la capacité, la permittivité absolue, la permittivité relative, la permittivité relative complexe et le facteur de dissipation diélectrique

3.3

permittivité absolue

ε

induction électrique divisée par le champ électrique

3.4**permittivité du vide** ε_0

permittivité du vide, qui est liée à la constante magnétique $\varepsilon_0\mu_0$ et à la vitesse de la lumière dans le vide c_0 par la relation $\varepsilon_0\mu_0c_0^2 = 1$

3.5**permittivité relative** ε_r

rapport de la permittivité absolue à la permittivité du vide ε_0

3.6**permittivité relative complexe** $\underline{\varepsilon_r}$

permittivité exprimée en notation complexe, dans des conditions de champ sinusoïdal établi

3.7**facteur de dissipation diélectrique $\tan \delta$ (tangente des pertes)**

valeur numérique du rapport de la partie imaginaire à la partie réelle de la permittivité complexe

3.8**capacité** C

propriété d'un montage de conducteurs et de diélectriques qui permet le stockage d'une charge électrique, lorsqu'il existe une différence de potentiel entre les conducteurs

3.9**application d'une tension**

application d'une tension entre des électrodes

Note 1 à l'article: L'application d'une tension est parfois appelée "électrification".

3.10**électrodes de mesure**

conducteurs appliqués sur un matériau ou enrobés dans sa masse afin d'assurer un contact avec celui-ci afin de mesurer ses propriétés diélectriques ou résistives

Note 1 à l'article: La conception des électrodes de mesure dépend du spécimen et de l'objet de l'essai.

4 Méthodes d'essai**4.1 Principes de base**

La capacité C est la propriété d'un montage de conducteurs et de diélectriques qui permet le stockage d'une charge électrique, lorsqu'il existe une différence de potentiel entre les conducteurs.

C est le rapport d'une grandeur q de charge à une différence de potentiel U . Une valeur de capacité est toujours positive. L'unité utilisée est le farad lorsque la charge est exprimée en coulombs et le potentiel en volts.

$$C = \frac{q}{U} \quad (1)$$

La permittivité mesurée (auparavant appelée "constante diélectrique") ε d'un matériau isolant est le produit de sa permittivité relative ε_r et de la permittivité du vide ε_0 :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \quad (2)$$

Cette méthode générale décrit des valeurs courantes pour les mesurages d'ordre général. Si le présent document décrit une méthode pour un type de matériau spécifique, la méthode spécifique doit alors être utilisée.

La permittivité est exprimée en farads par mètre (F/m); la permittivité du vide ε_0 a la valeur suivante:

$$\varepsilon_0 = 8,854187817 \times 10^{-12} \quad (3)$$

La permittivité relative est le rapport de la permittivité absolue à la permittivité du vide ε_0 .

Pour des champs continus et des champs alternatifs de fréquence suffisamment basse, la permittivité relative d'un diélectrique isotrope ou quasi isotrope est égale au rapport de la capacité d'un condensateur, dans lequel l'espace entre et autour des électrodes est entièrement et exclusivement rempli du diélectrique, à la capacité de la même configuration d'électrodes dans le vide.

$$\varepsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \quad (4)$$

La permittivité relative ε_r de l'air sec, sous une pression atmosphérique normale, est égale à 1 000 59. Ainsi, les capacités C_a de la configuration d'électrodes dans l'air peuvent normalement être utilisées en lieu et place de C_0 pour déterminer la permittivité relative ε_r avec une exactitude suffisante.

La permittivité relative complexe est la permittivité exprimée en notation complexe, dans des conditions de champ sinusoïdal établi, exprimée comme suit:

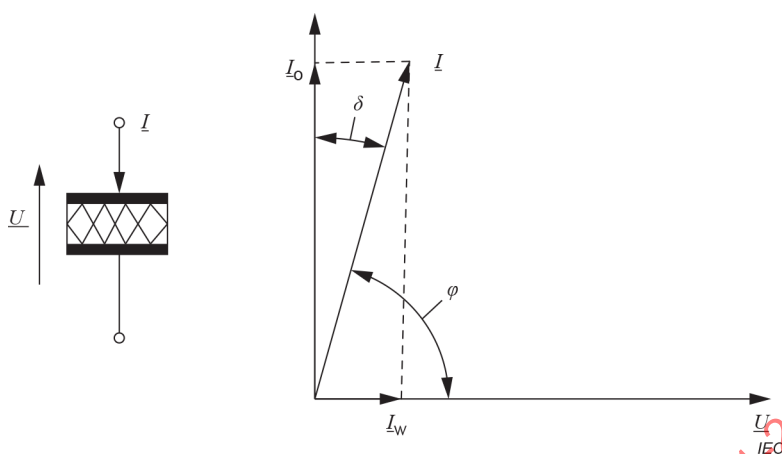
$$\underline{\varepsilon}_r = \varepsilon_r' - j\varepsilon_r'' = |\varepsilon_r| e^{-j\delta} \quad (5)$$

où ε_r' et ε_r'' ont des valeurs positives.

NOTE 1 La permittivité complexe $\underline{\varepsilon}_r$ est habituellement exprimée en fonction de ε_r' et ε_r'' ou en fonction de ε_r et $\tan \delta$.

NOTE 2 L'indice de pertes est noté ε_r'' .

Le facteur de dissipation diélectrique $\tan \delta$ (tangente des pertes) est la valeur numérique du rapport de la partie imaginaire à la partie réelle de la permittivité complexe.



Légende

$\underline{U}$ tension appliquée

$\underline{I}$ courant

$\underline{I}_w$ partie réelle du courant

$\underline{I}_o$ partie imaginaire du courant

φ différence de phase entre la tension appliquée et le courant

δ angle soustrait de φ dans $\frac{\pi}{2}$

Figure 1 – Facteur de dissipation diélectrique

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'} \quad (6)$$

Ainsi, le facteur de dissipation diélectrique $\tan \delta$ d'un matériau isolant est la tangente de l'angle δ , où la différence de phase φ entre la tension appliquée et le courant résultant s'écarte de $\pi/2$ rad lorsque le matériau isolant solide est exclusivement utilisé comme diélectrique dans une éprouvette capacitive (condensateur), par rapport à la Figure 1. Le facteur de dissipation diélectrique peut aussi être exprimé par un schéma de circuit équivalent en utilisant un condensateur idéal avec une résistance en série ou en parallèle (voir Figure 2).

$$\tan \delta = \omega C_s \times R_s = \frac{1}{\omega C_p \times R_p} \quad (7)$$

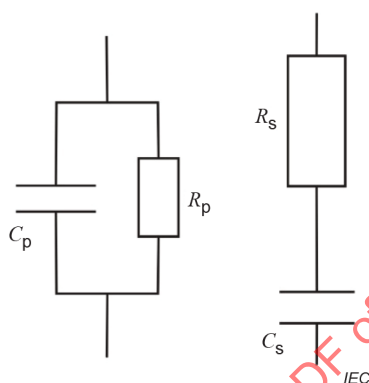
avec

$$\frac{C_p}{C_s} = \frac{1}{1 + \tan^2 \delta} \quad (8)$$

et

$$\frac{R_p}{R_s} = 1 + \frac{1}{\tan^2 \delta} \quad (9)$$

NOTE 3 R_s et R_p respectivement ne sont pas directement liées à la résistance transversale et superficielle d'un matériau isolant, mais sont affectées par celles-ci. Par conséquent, les propriétés des matériaux résistifs peuvent également avoir une incidence sur le facteur de dissipation diélectrique.

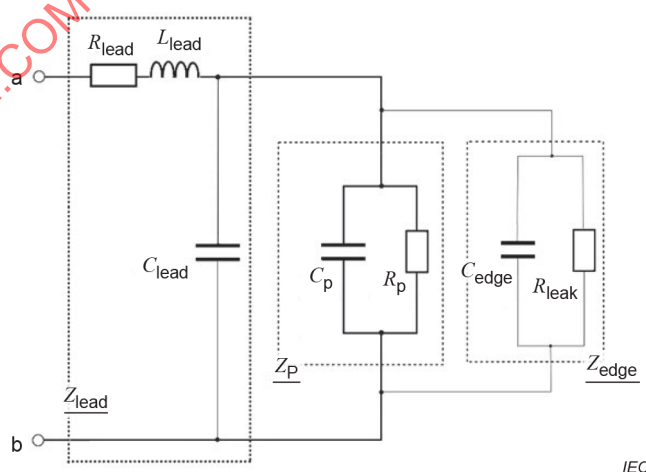


Légende

- C_p et R_p capacité et résistance du circuit en parallèle équivalent, respectivement
 C_s et R_s capacité et résistance du circuit en série équivalent, respectivement

Figure 2 – Schémas de circuits équivalents avec une éprouvette capacitive

Cette méthode générale décrit des valeurs courantes pour les mesurages d'ordre général. Si le présent document décrit une méthode pour un type de matériau spécifique, la méthode spécifique doit alors être utilisée.



Légende

- a et b bornes
 C_p , R_p et Z_P capacité, résistance et impédance du circuit en parallèle équivalent avec un échantillon P, respectivement
 R_{lead} , L_{lead} , C_{lead} et Z_{lead} Z_{lead} est l'impédance due à la résistance résiduelle R_{lead} et à l'inductance résiduelle L_{lead} qui existe lorsque des conducteurs sont reliés entre le matériel et le

montage d'essai. Le condensateur parasite C_{lead} est le condensateur parasite impliqué dans Z_{lead}

C_{edge} , R_{leak} et Z_{edge} est l'impédance due à la capacité de bord de l'électrode et à la résistance de fuite sur l'échantillon et les isolateurs du montage d'électrodes.

Figure 3 – Circuit en parallèle équivalent pour le montage d'essai avec un échantillon et des conducteurs reliés au matériel

La permittivité et le facteur de dissipation diélectrique doivent être mesurés en tenant compte des propriétés électriques du circuit de mesure, ainsi que des propriétés électriques spécifiques du matériau. Pour réaliser l'essai, il est nécessaire d'appliquer une haute tension dans la plupart des cas. Il convient de prendre des précautions pour éviter tout choc électrique.

Les principes de base des appareillages et des méthodes ne sont pas décrits dans le présent document. Des ouvrages de référence sont donnés dans la bibliographie de l'IEC 62631-2-1 [2] ¹.

4.2 Facteurs distinctifs pour les mesurages dans la plage des hautes fréquences

La Figure 3 représente un circuit en parallèle équivalent qui comporte un système d'électrodes, avec un échantillon et des fils conducteurs reliés entre les bornes a et b.

L'impédance de C_p , $\frac{1}{j\omega C_p}$, diminue lorsque la fréquence augmente, ce qui provoque une augmentation du courant aux bornes de C_p dans la plage des hautes fréquences. Lorsque la fréquence est augmentée de 100 kHz à 100 MHz, l'intensité du courant aux bornes de C_p augmente 1 000 fois plus que l'intensité mesurée à 100 kHz. Cela entraîne une diminution de l'exactitude des résultats mesurés.

Les impédances dues à l'inductance des fils (L_{lead}) et la capacité parasite (C_{lead}) dépendent également de la fréquence. Ce type d'impédance peut ne pas être pris en compte lors des mesurages dans la plage des basses fréquences. Dans la plage des hautes fréquences, en revanche, l'effet de l'impédance de Z_{edge} sur les valeurs mesurées ne peut être négligé et introduit des erreurs dans les résultats mesurés.

L'impédance due à Z_{edge} est également un facteur important dans la plage des hautes fréquences. R_{leak} est indépendante de la fréquence et peut donc être négligeable, car le courant de fuite sur la surface de l'échantillon est nettement inférieur au courant qui parcourt la capacité de bord dans la plage des hautes fréquences.

Dans la plage des basses fréquences, comme cela est décrit dans l'IEC 62631-2-1, il convient d'appliquer un dispositif de garde et de protection efficace afin d'éviter des erreurs de mesure dues à la capacité parasite et à l'impédance résiduelle. Dans la plage de fréquences supérieures à 100 kHz, cependant, le courant qui parcourt l'anneau de garde et de protection est significatif par rapport au courant qui parcourt le spécimen dans la plage de fréquences inférieures. En outre, il convient d'accorder une attention particulière afin d'empêcher tout brouillage électromagnétique (EMI, *Electromagnetic Interference*) lors des mesurages dans la plage des radiofréquences.

NOTE 1 Etant donné que l'impédance d'un condensateur est inversement proportionnelle à la fréquence, celui-ci se comporte comme un fil à hautes fréquences.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

NOTE 2 La capacité parasite est la capacité supplémentaire qui existe en parallèle avec la capacité de l'éprouvette. La capacité parasite existe également entre la masse et une liaison conductrice entre une borne du matériel et une électrode.

NOTE 3 L'impédance résiduelle est l'impédance qui existe dans un montage en série avec l'impédance de l'éprouvette. L'impédance résiduelle comprend une impédance de l'électrode produite à la surface du spécimen (par évaporation, par exemple) et une liaison conductrice destinée à la connexion d'une borne de l'instrument et d'une électrode.

4.3 Alimentation électrique

La source d'alimentation doit délivrer une tension sinusoïdale stable. La valeur mesurée de la tension d'alimentation doit être maintenue à $\pm 5\%$ pendant toute la durée du mesurage.

La forme d'onde de la tension doit s'approcher d'une sinusoïde, la différence d'amplitude des valeurs de crête positive et négative étant inférieure à 2% .

L'écart par rapport à la forme sinusoïdale (le rapport de la valeur de crête aux valeurs efficaces est égal à $\sqrt{2}$) doit être compris dans une limite de $\pm 5\%$.

Les tensions préférentielles sont 0,1 V; 0,5 V; 10 V; 100 V; 500 V; 1 000 V et 2 000 V. Les autres niveaux de tension doivent être consignés dans le rapport.

NOTE 1 Des tensions supérieures peuvent être utilisées pour réaliser les essais dans le champ électrique de fonctionnement.

NOTE 2 Une décharge partielle peut conduire à des mesures erronées lorsqu'une tension de seuil spécifique est dépassée. Au-dessous de 340 V, aucune décharge partielle ne se produit à la pression atmosphérique dans l'air.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62631-2-2:2022

4.4 Matériel

4.4.1 Exactitude

Il convient que le dispositif de mesure soit capable de déterminer la permittivité inconnue et le facteur de dissipation diélectrique inconnu en fonction des propriétés prévues des matériaux. L'exactitude du système de mesure doit être consignée dans le rapport.

NOTE L'utilisateur peut choisir l'exactitude du système de mesure en fonction des exigences des résultats de mesure.

4.4.2 Caractéristique distinctive du matériel pour les mesurages dans la plage des hautes fréquences

4.4.2.1 Généralités

Comme cela est décrit en 4.2, les impédances de Z_{lead} et Z_{edge} à la Figure 3 ont une incidence significative sur l'exactitude des données mesurées dans la plage de fréquences supérieures à 1 MHz. Pour éviter une diminution significative de l'exactitude, il convient de prendre en compte les recommandations suivantes:

- un spécimen circulaire très épais et de surface plane réduite (voir 4.6.2);
- impédance résiduelle faible du circuit de mesure;
- impédance résiduelle faible du système d'électrodes à deux bornes;
- emploi d'une conductance et d'une capacité de fiabilité élevée pour la référence.

L'impédance de Z_P représentée à la Figure 3 diminue dans la plage des hautes fréquences. Ainsi, une quantité suffisante de courant peut être obtenue aux bornes de Z_P même lors de l'application d'une basse tension. L'électrode à trois bornes, qui comporte un anneau de garde (voir l'IEC 62631-2-1:2018, Figure 3), entraîne une augmentation de la capacité de bord (C_{edge} à la Figure 3). C_{edge} augmente de manière significative par rapport à la capacité de l'échantillon (C_p) lorsque la surface de l'électrode cylindrique diminue. Par conséquent, il convient d'utiliser une électrode sans l'anneau de garde lors des mesurages dans la plage des hautes fréquences. Le courant de fuite à la surface de l'échantillon, R_{leak} , est indépendant de la fréquence, et son intensité diminue après l'application d'une basse tension. Ainsi, la résistance R_{leak} de l'électrode à deux bornes n'a pas une incidence significative sur l'exactitude de la valeur mesurée, même dans la plage des hautes fréquences.

Il convient d'utiliser la méthode de compensation pour éliminer la capacité parasite et l'impédance résiduelle, ce qui exige l'emploi d'une conductance et d'une capacité de fiabilité élevée pour la référence.

4.4.2.2 Système d'électrodes à deux bornes

Comme cela est décrit en 4.4.2.1, le système d'électrodes sans l'anneau de garde (autrement dit le système à électrodes à deux bornes) est généralement utilisé pour les mesurages dans la plage des hautes fréquences. Il convient que l'épaisseur de l'électrode soit suffisamment inférieure à celle du spécimen afin d'empêcher l'augmentation de la capacité parasite autour de l'électrode. Par exemple, il convient que l'épaisseur de l'électrode soit inférieure à 1 mm pour un spécimen de 5 mm d'épaisseur.

Lorsque la capacité du spécimen est mesurée à l'aide du système d'électrodes à deux bornes, il convient de compenser la capacité mesurée en calculant l'effet de bord (voir l'IEC 62631-2-1:2018, Annexe A).

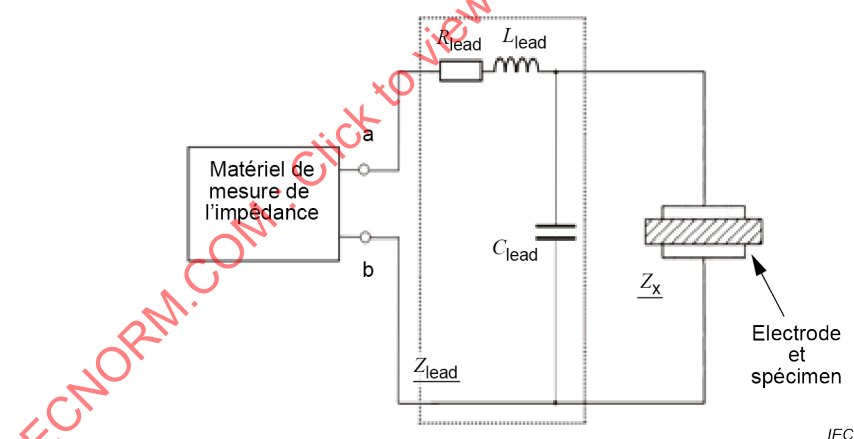
Les électrodes en parallèle avec un anneau de protection constituent un montage d'électrodes approprié pour diminuer l'effet de bord lors des mesurages dans la plage des hautes fréquences. Ce montage est décrit à l'Annexe B.

4.4.2.3 Dispositif de garde

L'emploi d'un dispositif de garde permet d'éliminer les erreurs dues au courant de fuite vagabond lors des mesurages dans la plage des basses fréquences, comme cela est indiqué dans l'IEC 62631-2-1. Toutefois, le dispositif de garde du fil conducteur relié entre le matériel et le système d'électrodes augmente la capacité, C_{lead} , comme cela est représenté à la Figure 3. L'impédance due à C_{lead} et l'admittance due à C_{lead} augmentent lorsque la fréquence augmente, ce qui entraîne une diminution de la tension appliquée au système d'électrodes. La quantité de courant qui parcourt le système d'électrodes est insuffisante, ce qui diminue l'exactitude des résultats. C'est pourquoi il convient de ne pas appliquer le dispositif de garde pour la plupart des mesurages dans la plage des hautes fréquences.

4.4.2.4 Méthode de compensation pour l'élimination de la capacité parasite et de l'impédance résiduelle

Dans la plage des basses fréquences, le matériel de mesure de l'impédance est souvent directement connecté au système d'électrodes avec le spécimen, comme cela est représenté à la Figure 4. L'impédance résiduelle dans la liaison conductrice entre le système d'électrodes et la borne (entre a et b) est impliquée dans la valeur mesurée lorsque le système directement connecté est utilisé. La capacité parasite est également impliquée dans ce cas. Dans la plage des hautes fréquences, cependant, les impédances résiduelles et parasites sont significatives lors des mesurages. Il convient donc d'utiliser la méthode de compensation afin d'éliminer l'incidence de la capacité parasite et de l'impédance résiduelle dans la plage des hautes fréquences. L'Annexe A donne un exemple de méthode de compensation avec un circuit en série.



Légende

a et b

bornes

R_{lead} , L_{lead} , C_{lead} et Z_{lead}

Z_{lead} est l'impédance due à la résistance résiduelle R_{lead} et à l'inductance résiduelle L_{lead} qui existe lorsque des conducteurs sont reliés entre le matériel et le montage d'essai. C_{lead} est le condensateur parasite impliqué dans Z_{lead}

Z_x

impédance équivalente de l'échantillon

Figure 4 – Existence d'une impédance résiduelle et d'une capacité parasite dans le système directement connecté

4.4.3 Choix des méthodes de mesure

Les méthodes de mesure utilisées dans la plage des hautes fréquences peuvent être divisées en trois groupes:

- a) méthode par zéro (méthode d'équilibrage);
- b) méthode par résonance;
- c) méthode I-V.

La méthode par résonance peut être utilisée dans la plage de 10 kHz à plusieurs 100 MHz. Elle repose sur le mesure de la tension qui apparaît aux bornes d'un circuit résonant lorsqu'une tension de valeur faible connue est appliquée. Le mesure peut être réalisé jusqu'à des fréquences proches de 300 MHz lorsque cette méthode est associée à la méthode d'électrodes sans contact. Ces méthodes ne peuvent pas être adaptées facilement lorsqu'une électrode de garde est utilisée.

La méthode par zéro et la méthode de l'analyseur d'impédance sont décrites respectivement en 4.3.2.2 et en 4.3.2.3 de l'IEC 62631-2-1:2018.

Le Tableau 1 répertorie les appareillages utilisés pour les mesures aux fréquences supérieures à 10 MHz. Il est nécessaire d'utiliser le système d'électrodes à deux bornes. Ces appareillages sont décrits à l'Annexe C.

Tableau 1 – Plage de fréquences applicable dans les appareillages efficaces

Appareillages efficaces	Groupe de mesure	Plage de fréquences applicable
Méthode des réseaux en T parallèle	Méthode par zéro	1 MHz à 150 MHz
Circuit résonant	Méthode par résonance	10 kHz à 300 MHz
Analyseur d'impédance	Méthode I-V	20 Hz à 300 MHz ^a
Pont autoéquilibré	Méthode par zéro	20 Hz à 120 MHz
^a Spécialement conçu pour les mesures à hautes fréquences (voir Article C.3).		

4.5 Etalonnage

Le matériel doit être étalonné à l'aide d'une charge normalisée connue avec exactitude.

4.6 Epruvette

4.6.1 Généralités

Pour mesurer la permittivité et le facteur de dissipation d'un matériau, il est préférable d'utiliser un spécimen en forme de feuille.

4.6.2 Dimensions recommandées pour les éprouvettes et les montages d'électrodes

Pour les mesures dans la plage des hautes fréquences, l'impédance due à la capacité du système d'électrodes avec le spécimen est si faible qu'il est recommandé d'utiliser une petite zone de la surface d'électrode et une grande épaisseur de spécimen. Le diamètre d'électrode adéquat est d'environ 30 mm, et l'épaisseur adéquate du spécimen est comprise entre 0,3 mm et 5,0 mm. Il convient de corriger l'effet de bord dans le système d'électrodes à deux bornes (voir l'IEC 62631-2-1:2018, Annexe A). Dans le cas d'un film mince, le spécimen est constitué de films de plusieurs couches.

Pour les électrodes à deux bornes avec un anneau de protection, il peut ne pas être nécessaire de corriger l'effet de bord lorsque le diamètre du spécimen est supérieur ou égal à deux fois l'épaisseur du spécimen. L'anneau de protection est décrit à l'Annexe B.

Il convient de ne pas utiliser d'électrodes à film mince conducteur sur le spécimen, comme la peinture à l'argent, un film métallique évaporé ou une feuille métallique, dans la plage des hautes fréquences, car ce type de film mince conducteur induit une composante inductive. Il convient d'utiliser la méthode d'électrodes sans contact à la place. Cette méthode n'exige pas d'électrodes à film mince, mais élimine néanmoins l'incidence de l'entrefer. L'Annexe D décrit la méthode d'électrodes sans contact et la méthode par déplacement de fluide.

4.6.3 Nombre d'éprouvettes

Le nombre de spécimens à soumettre aux essais doit être déterminé par les normes de produits applicables. En l'absence de telles données, au moins trois spécimens doivent être soumis aux essais.

4.6.4 Conditionnement et prétraitement de l'éprouvette

Le conditionnement et tout autre prétraitement de l'éprouvette doivent être réalisés conformément à la norme de produit applicable. En l'absence de norme de produit, le conditionnement doit être réalisé pendant au moins 4 jours à 23 °C et 50 % d'humidité relative conformément à l'IEC 60212 (climat normalisé B).

4.7 Procédures pour matériaux spécifiques

Les procédures pour matériaux spécifiques sont décrites dans des spécifications de matériaux. S'il existe une procédure spécifique pour un matériau spécifié, cette spécification doit être utilisée. La procédure de mesure, y compris la préparation de l'éprouvette, doit être décrite dans le rapport.

5 Procédure d'essai

5.1 Généralités

Les recommandations générales pour la préparation de l'échantillon dans le cadre de la procédure d'essai sont décrites en 5.1 de l'IEC 62631-2-1:2018.

5.2 Calcul de la permittivité et de la permittivité relative

5.2.1 Permittivité relative

Après les mesurages de C_x et de C_0 , la permittivité relative ε_r peut être calculée à l'aide de la Formule (10).

$$\varepsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \quad (10)$$

où C_x est la capacité de l'éprouvette, l'espace entre les deux électrodes étant entièrement et exclusivement rempli du matériau isolant considéré, et C_0 est la capacité de la même configuration d'électrodes dans le vide.

5.2.2 Facteur de dissipation diélectrique $\tan \delta$

Le facteur de dissipation diélectrique, $\tan \delta$, doit être calculé à partir des valeurs mesurées à l'aide de la Formule (11).

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega C_p \times R_p} \quad (11)$$

6 Rapport

Le rapport doit comporter les informations suivantes:

- nom, identification, spécification des matériaux, couleur, source et code du spécimen attribué par le fabricant;
- forme et dimensions de l'éprouvette et du montage d'essai;
- température de l'éprouvette et humidité relative de l'environnement;
- conditions de durcissement du spécimen et tout prétraitement;
- nombre d'essais et description de la procédure;
- méthode d'essai et circuit de mesure utilisé;
- identification de l'instrument attribuée par le fabricant et exactitude du matériel d'essai;
- lieu et date des essais;
- température ambiante, humidité relative et pression atmosphérique;
- tension d'essai;
- fréquence d'essai;
- montage d'électrodes et types d'électrodes appliquées à l'échantillon utilisé;
- pression mécanique des électrodes en Pascal (le cas échéant);
- nombre de spécimens;
- date et heure de l'essai;
- chaque valeur et la valeur moyenne de la permittivité et du facteur de dissipation diélectrique respectivement;
- toutes autres informations jugées importantes, le cas échéant;
- valeurs de la capacité parallèle, de la permittivité relative et du facteur de dissipation diélectrique avec l'exactitude estimée, la correction d'erreurs sur la surface effective du spécimen et les valeurs calculées à partir de ces valeurs en tant qu'indice de pertes et qu'angle de pertes (Si plusieurs essais sont réalisés sur un seul échantillon, la valeur moyenne doit être indiquée en fonction de la température et de la fréquence. Ces informations ne sont pas toutes nécessaires, voire ne sont pas appropriées dans tous les cas).

7 Répétabilité et reproductibilité

En général, la répétabilité et la reproductibilité des mesurages réalisés dans la plage des hautes fréquences sont inférieures aux valeurs mesurées dans celle des basses fréquences.