

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**61620**

Première édition  
First edition  
1998-11

---

---

**Isolants liquides –  
Détermination du facteur de dissipation  
diélectrique par la mesure de la conductance  
et de la capacité –  
Méthode d'essai**

**Insulating liquids –  
Determination of the dielectric dissipation factor  
by measurement of the conductance  
and capacitance –  
Test method**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 61620:1998

## Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

## 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 60 000 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

61620

Première édition  
First edition  
1998-11

---

---

**Isolants liquides –  
Détermination du facteur de dissipation  
diélectrique par la mesure de la conductance  
et de la capacité –  
Méthode d'essai**

**Insulating liquids –  
Determination of the dielectric dissipation factor  
by measurement of the conductance  
and capacitance –  
Test method**

© IEC 1998 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 Varembe Geneva, Switzerland  
e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

S

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

## SOMMAIRE

|                                                                                                                                         | Pages |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                                      | 4     |
| INTRODUCTION .....                                                                                                                      | 6     |
| Articles                                                                                                                                |       |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                                           | 8     |
| 2 Références normatives.....                                                                                                            | 8     |
| 3 Définitions.....                                                                                                                      | 10    |
| 4 Principe de fonctionnement .....                                                                                                      | 12    |
| 5 Appareillage.....                                                                                                                     | 14    |
| 6 Echantillonnage.....                                                                                                                  | 18    |
| 7 Etiquetage.....                                                                                                                       | 18    |
| 8 Procédure .....                                                                                                                       | 20    |
| 9 Expression des résultats .....                                                                                                        | 24    |
| 10 Rapport d'essais .....                                                                                                               | 24    |
| 11 Fidélité.....                                                                                                                        | 26    |
| Annexe A (normative) Procédure exhaustive de nettoyage des cellules d'essai .....                                                       | 28    |
| Annexe B (normative) Procédure simplifiée de nettoyage des cellules d'essai<br>consacrées aux mesures sur un seul type de liquide ..... | 30    |
| Annexe C (informative) Considérations générales sur les facteurs influençant<br>la conduction des liquides .....                        | 32    |
| Annexe D (informative) Bibliographie.....                                                                                               | 42    |

## CONTENTS

|                                                                                                           | Page |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| FOREWORD .....                                                                                            | 5    |
| INTRODUCTION .....                                                                                        | 7    |
| Clause                                                                                                    |      |
| 1 Scope .....                                                                                             | 9    |
| 2 Normative references .....                                                                              | 9    |
| 3 Definitions .....                                                                                       | 11   |
| 4 Principle of operation .....                                                                            | 13   |
| 5 Apparatus .....                                                                                         | 15   |
| 6 Sampling .....                                                                                          | 19   |
| 7 Labelling .....                                                                                         | 19   |
| 8 Procedure .....                                                                                         | 21   |
| 9 Expression of results .....                                                                             | 25   |
| 10 Test report .....                                                                                      | 25   |
| 11 Precision .....                                                                                        | 27   |
| Annex A (normative) Exhaustive cleaning procedure for the test cells .....                                | 29   |
| Annex B (normative) Simplified cleaning procedure for test cells devoted to only one type of liquid ..... | 31   |
| Annex C (informative) General considerations on the factors influencing the conduction of liquids .....   | 33   |
| Annex D (informative) Bibliography .....                                                                  | 43   |

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## ISOLANTS LIQUIDES – DÉTERMINATION DU FACTEUR DE DISSIPATION DIÉLECTRIQUE PAR LA MESURE DE LA CONDUCTANCE ET DE LA CAPACITÉ – MÉTHODE D'ESSAI

### AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes Internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques, représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61620 a été établie par le comité d'études 10 de la CEI: Fluides pour applications électrotechniques

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS             | Rapport de vote |
|------------------|-----------------|
| 10/446+446A/FDIS | 10/458/RVD      |

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

Les annexes A et B font partie intégrante de cette norme.

Les annexes C et D sont données uniquement à titre d'information.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INSULATING LIQUIDS –  
DETERMINATION OF THE DIELECTRIC DISSIPATION FACTOR  
BY MEASUREMENT OF THE CONDUCTANCE AND CAPACITANCE –  
TEST METHOD**

## FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61620 has been prepared by IEC technical committee 10: Fluids for electrotechnical applications

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

| FDIS             | Report on voting |
|------------------|------------------|
| 10/446+446A/FDIS | 10/458/RVD       |

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

Annexes A and B form an integral part of this standard.

Annexes C and D are for information only.

## INTRODUCTION

La conductivité  $\sigma$  est une caractéristique d'un liquide uniquement si elle est mesurée à l'équilibre thermodynamique.

Afin de remplir cette condition, l'application d'un champ électrique élevé et/ou l'application prolongée d'une tension est à éviter. Ce n'est pas le cas dans la CEI 60247 pour la mesure de la résistivité sous tension continue (champ électrique jusqu'à  $250 \text{ Vmm}^{-1}$ , temps de mise sous tension arbitrairement fixé à 1 min).

Il existe une relation simple entre le facteur de dissipation diélectrique  $\tan \delta$ , la conductivité  $\sigma$  et la permittivité  $\varepsilon$  d'un liquide sans pertes dipolaires (ou avec des pertes négligeables), ce qui est le cas pour la plupart des liquides pour applications électrotechniques:

$$\tan \delta = \frac{\sigma}{\varepsilon \omega}$$

où  $\omega = 2 \pi f$  et  $f$  est la fréquence de la tension.

Donc, la mesure soit de  $\tan \delta$  soit de  $\sigma$  donne la même information sur les propriétés de conduction du liquide. En fait, très souvent dans la pratique, il y a un grand désaccord entre la résistivité calculée d'après la mesure de  $\tan \delta$  avec un appareil conventionnel et la résistivité sous tension continue mesurée en suivant les recommandations de la CEI 60247.

De nouveaux appareils pour la mesure de la conductivité  $\sigma$  à l'équilibre thermodynamique sont à présent disponibles. Ils sont capables de mesurer facilement avec certitude de très faibles valeurs de  $\sigma$ . Les possibilités de ces nouveaux équipements permettent la mesure de  $\sigma$  d'isolants liquides neufs à température ambiante.

## INTRODUCTION

The conductivity  $\sigma$  is a characteristic of a liquid only if it is measured at thermodynamic equilibrium.

To fulfil this requirement high electric stress and/or prolonged voltage application is to be avoided, this is not the case in IEC 60247 for the d.c. resistivity measurement (electric stress up to 250 Vmm<sup>-1</sup>, conventional arbitrary time of electrification 1 min).

There is a simple relationship between the dielectric dissipation factor  $\tan \delta$ , the conductivity  $\sigma$  and the permittivity  $\varepsilon$  of the liquid with no (or negligible) dipolar losses, which is the case of most liquids for electrotechnical applications:

$$\tan \delta = \frac{\sigma}{\varepsilon \omega}$$

where  $\omega = 2 \pi f$  and  $f$  is the frequency of the voltage.

Therefore, the measurement of either  $\tan \delta$  or  $\sigma$  gives the same information on the conduction properties of the liquid. In fact, very often in practice, there are large discrepancies between the resistivity calculated from the measurement of  $\tan \delta$  with conventional apparatus and the d.c. resistivity measured following the recommendation of IEC 60247.

New devices for the measurement of the conductivity  $\sigma$  at thermodynamic equilibrium are currently available. They are able to measure easily and with precision very low values of  $\sigma$ . The capabilities of this new equipment allow measurements of  $\sigma$  of unused insulating liquids even at room temperature.

# ISOLANTS LIQUIDES – DÉTERMINATION DU FACTEUR DE DISSIPATION DIÉLECTRIQUE PAR LA MESURE DE LA CONDUCTANCE ET DE LA CAPACITÉ – MÉTHODE D'ESSAI

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale décrit une méthode de mesure simultanée de la conductance  $G$  et de la capacité  $C$  permettant le calcul du facteur de dissipation  $\tan \delta$  d'isolants liquides. La méthode proposée s'applique aussi bien aux isolants liquides neufs qu'aux isolants liquides en service dans les transformateurs ou autres appareils électriques.

Cette norme ne se substitue pas à la CEI 60247 mais en est complémentaire en ce qu'elle est particulièrement bien adaptée aux liquides hautement isolants; elle recommande une méthode de mesure pour ces liquides. Cette méthode permet de déterminer avec certitude des valeurs du facteur de dissipation diélectrique aussi basses que  $10^{-6}$  aux fréquences industrielles. De plus, l'étendue des mesures de  $\tan \delta$  va de  $10^{-6}$  à 1 et peut être prolongée jusqu'à 200 dans des conditions particulières.

## 2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de sa publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60247:1978, *Mesure de la permittivité relative, du facteur de dissipation diélectrique et de la résistivité (en courant continu) des liquides isolants*

CEI 60475:1974, *Méthode d'échantillonnage des diélectriques liquides*

ISO 5725-1:1994, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure – Partie 1: Principes généraux et définitions*

ISO 5725-2:1994, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure – Partie 2: Méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée*

ISO 5725-3:1994, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure – Partie 3: Mesures intermédiaires de la fidélité d'une méthode de mesure normalisée*

ISO 5725-4:1994, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure – Partie 4: Méthode de base pour la détermination de la justesse d'une méthode de mesure normalisée*

# **INSULATING LIQUIDS – DETERMINATION OF THE DIELECTRIC DISSIPATION FACTOR BY MEASUREMENT OF THE CONDUCTANCE AND CAPACITANCE – TEST METHOD**

## **1 Scope**

This International Standard describes a method for the simultaneous measurement of conductance  $G$  and capacitance  $C$  enabling the calculation of the dielectric dissipation factor  $\tan \delta$  of insulating liquids. The proposed method applies both to unused insulating liquids and insulating liquids in service in transformers and in other electrical equipment.

The standard is no substitute for IEC 60247; rather it complements it insofar as it is particularly suited to highly insulating liquids and it recommends a method of measurement for these liquids. This method allows values of the dielectric dissipation factor as low as  $10^{-6}$  at power frequency to be determined with certainty. Moreover, the range of measurements of  $\tan \delta$  lies between  $10^{-6}$  and 1 and can be extended up to 200 in particular conditions.

## **2 Normative references**

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60247:1978, *Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor and d.c. resistivity of insulating liquids*

IEC 60475:1974, *Method of sampling liquid dielectrics*

ISO 5725-1:1994, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 1: General principles and definitions*

ISO 5725-2:1994, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method*

ISO 5725-3:1994, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 3: Intermediate measures of the precision of a standard measurement method*

ISO 5725-4:1994, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 4: Basic methods for the determination of the trueness of a standard measurement method*

### 3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent

#### 3.1

##### **conductivité ( $\sigma$ )**

grandeur reliée à l'intensité du champ électrique  $E$  et à la densité de courant de conduction  $j$  par

$$j = \sigma E$$

#### 3.2

##### **résistivité ( $\rho$ )**

inverse de la conductivité  $\sigma$ , donné par:

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

#### 3.3

##### **résistance ( $R$ )**

la résistance de la cellule d'essai remplie de liquide est le quotient de la tension  $V$  appliquée à la cellule par le courant continu ou le courant en phase  $I_R$  et est donnée par

$$R = \frac{V}{I_R}$$

Dans le cas le plus simple d'électrodes planes et parallèles de surface  $A$  distantes de  $L$ ,

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

#### 3.4

##### **conductance ( $G$ )**

inverse de la résistance, donné par

$$G = \frac{1}{R}$$

#### 3.5

##### **capacité ( $C$ )**

la capacité de la cellule d'essai remplie de liquide est le quotient de la charge  $Q$  des électrodes par la tension  $V$  appliquée à la cellule d'essai. Pour un condensateur plan,

$$C = \frac{\epsilon A}{L}$$

où  $\epsilon$  est la permittivité du liquide.

#### 3.6

##### **facteur de dissipation diélectrique (tangente de l'angle de pertes diélectriques $\tan \delta$ )**

pour un matériau soumis à une tension sinusoïdale,  $\tan \delta$  est le rapport de la valeur de la puissance active absorbée à la valeur de la puissance réactive. Dans le cas simple d'une capacité  $C$  shuntée par une résistance  $R$ ,

$$\tan \delta = \frac{G}{C\omega}$$

où  $\omega = 2\pi f$  et  $f$  est la fréquence de la tension

Des détails relatifs aux facteurs influençant la conduction des liquides peuvent être trouvés dans l'annexe C.

### 3 Definitions

For the purpose of this International Standard, the following definitions apply

#### 3.1

##### **conductivity ( $\sigma$ )**

quantity related to the electric field strength  $E$  and to the conduction current density  $j$  by

$$j = \sigma E$$

#### 3.2

##### **resistivity ( $\rho$ )**

reciprocal of the conductivity  $\sigma$ , given by

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

#### 3.3

##### **resistance ( $R$ )**

the resistance of the liquid-filled test cell is the ratio of the voltage  $V$  applied to the cell to the direct or in-phase current  $I_R$ , and is given by

$$R = \frac{V}{I_R}$$

In the simplest case of plane parallel electrodes of area  $A$  and with a gap distance  $L$ ,

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

#### 3.4

##### **conductance ( $G$ )**

reciprocal of the resistance, given by

$$G = \frac{1}{R}$$

#### 3.5

##### **capacitance ( $C$ )**

the capacitance of the liquid-filled test cell is the ratio of the charge  $Q$  of the electrodes to the voltage  $V$  applied to the test cell. For a plane capacitor,

$$C = \frac{\epsilon A}{L}$$

where  $\epsilon$  is the permittivity of the liquid.

#### 3.6

##### **dielectric dissipation factor (dielectric loss tangent $\tan \delta$ )**

for a material subjected to a sinusoidal voltage,  $\tan \delta$  is the ratio of the value of the absorbed active power to the value of the reactive power. In the simple case of a capacitance  $C$  shunted by a resistance  $R$ ,

$$\tan \delta = \frac{G}{C\omega}$$

where  $\omega = 2\pi f$  and  $f$  is the frequency of the voltage.

Details about the factors influencing the conduction of liquids can be found in annex C.

## 4 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement consiste à mesurer le courant capacitif et le courant de conduction en appliquant une onde de tension rectangulaire alternative à la cellule d'essai. Le courant capacitif est mesuré pendant le temps de montée et le courant de conduction lorsque la tension est constante, mais avant toute perturbation possible du champ électrique due à l'accumulation d'ions. Les courants peuvent être mesurés lors de chacune des alternances positive et négative de la tension rectangulaire alternative pendant un certain nombre de cycles pour accroître la précision de la mesure (voir figure 1 et [6] à [12]\*).

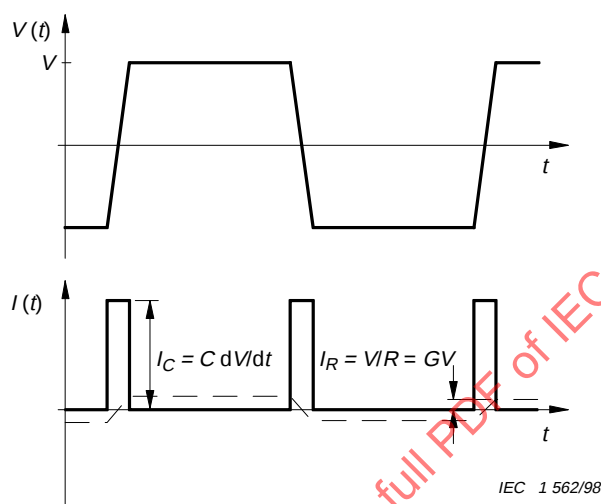


Figure 1 – Principe de la méthode utilisant l'onde de tension rectangulaire

L'onde de tension rectangulaire  $V(t)$ , d'amplitude  $\pm V$  est renversée périodiquement avec une pente  $dV/dt$ . Le courant  $I$  durant la montée et la descente de la tension est la somme du courant capacitif (courant de déplacement) et du courant de conduction, c'est-à-dire

$$I = C \times \left( \frac{dV}{dt} \right) + \frac{V}{R}$$

Le courant capacitif  $I_C$  est mesuré pendant la montée et la descente de  $V(t)$ .

Le courant de conduction  $I_R$  est mesuré sur les parties horizontales de  $V(t)$ , puisque  $V/R \ll I_C$ , à un instant convenablement choisi après l'établissement d'un régime stable au début de chaque plateau. La capacité  $C$ , la résistance  $R$  (ou la conductance  $G$ ) et  $\tan \delta$  à une pulsation  $\omega$  donnée peuvent être déterminées à partir des relations suivantes:

$$C = \frac{I_C}{\left( \frac{dV}{dt} \right)}$$

$$R = \frac{V}{I_R} \text{ ou } G = \frac{I_R}{V}$$

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega CR}$$

\* Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie donnée à l'annexe D

#### 4 Principle of operation

The principle of operation is to measure both the capacitive current and the conduction current by applying an alternate square wave voltage to the test cell. The capacitive current is measured during the rise time and the conduction current is measured during the stable period of the voltage, but prior to any possible disturbance of the electric field due to ion accumulation. The currents can be measured at both positive and negative half-waves of the alternate square wave voltage for a number of cycles to increase the accuracy of the measurement (see figure 1 and [6] to [12]\*).

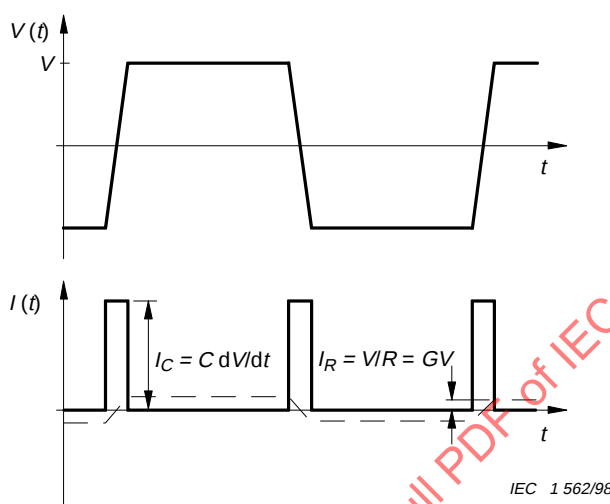


Figure 1 – Principle of operation using the square wave method

The square wave voltage  $V(t)$  of amplitude  $\pm V$ , is periodically reversed with a slope  $dV/dt$ . The current  $I$  during the rise and fall of the voltage is the sum of the capacitive current (displacement current) and the conduction current, i.e.

$$I = C \times \left( \frac{dV}{dt} \right) + \frac{V}{R}$$

The capacitive current  $I_C$  is measured during the rising and falling periods of  $V(t)$ .

The conduction current  $I_R$  is measured at the flat parts of  $V(t)$ , since  $V/R \ll I_C$ , after the system has settled for a time at the beginning of each flat period. The capacitance  $C$ , the resistance  $R$  (or conductance  $G$ ) and  $\tan \delta$  at a given angular frequency  $\omega$  can be determined from the following relations:

$$C = \frac{I_C}{\left( \frac{dV}{dt} \right)}$$

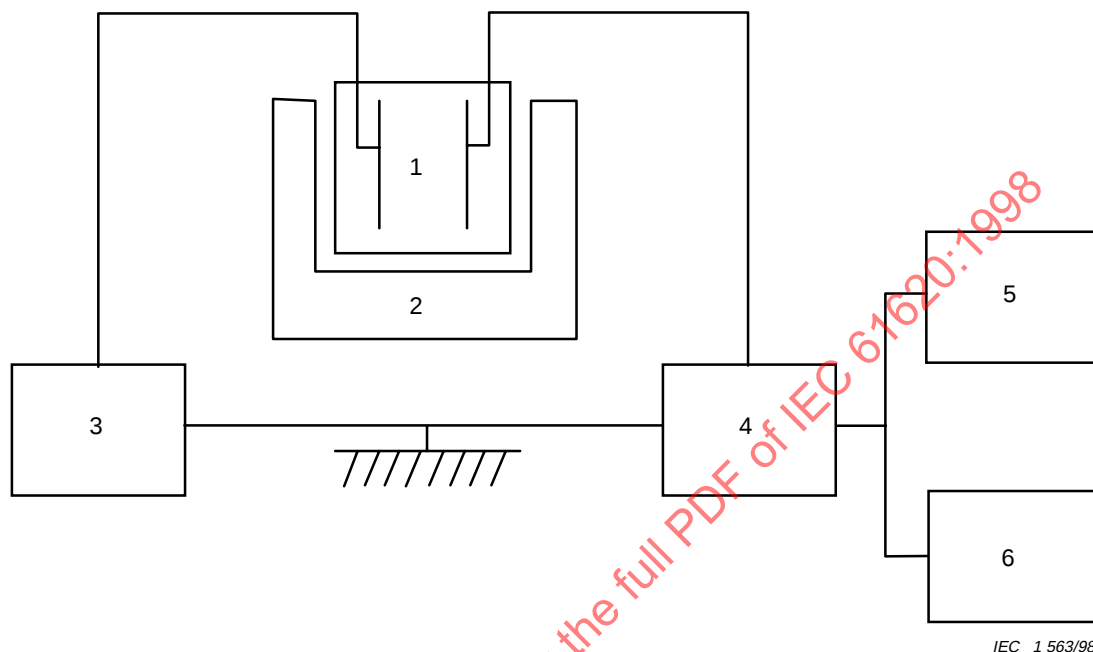
$$R = \frac{V}{I_R} \text{ or } G = \frac{I_R}{V}$$

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega CR}$$

\* Figures in square brackets refer to the bibliography in annex D.

## 5 Appareillage

Des instruments commerciaux spécifiquement construits pour cet usage ou constitués d'éléments individuels peuvent être utilisés pour réaliser cette méthode de mesure. Le schéma fonctionnel de la figure 2 et les indications données dans les paragraphes suivants illustrent un type d'équipement approprié.



### Légende

- 1 Cellule d'essai
- 2 Dispositif de chauffage
- 3 Générateur d'onde rectangulaire
- 4 Chaîne de mesure
- 5 Appareil de mesure
- 6 Enregistreur

Figure 2 – Schéma fonctionnel du système de mesure

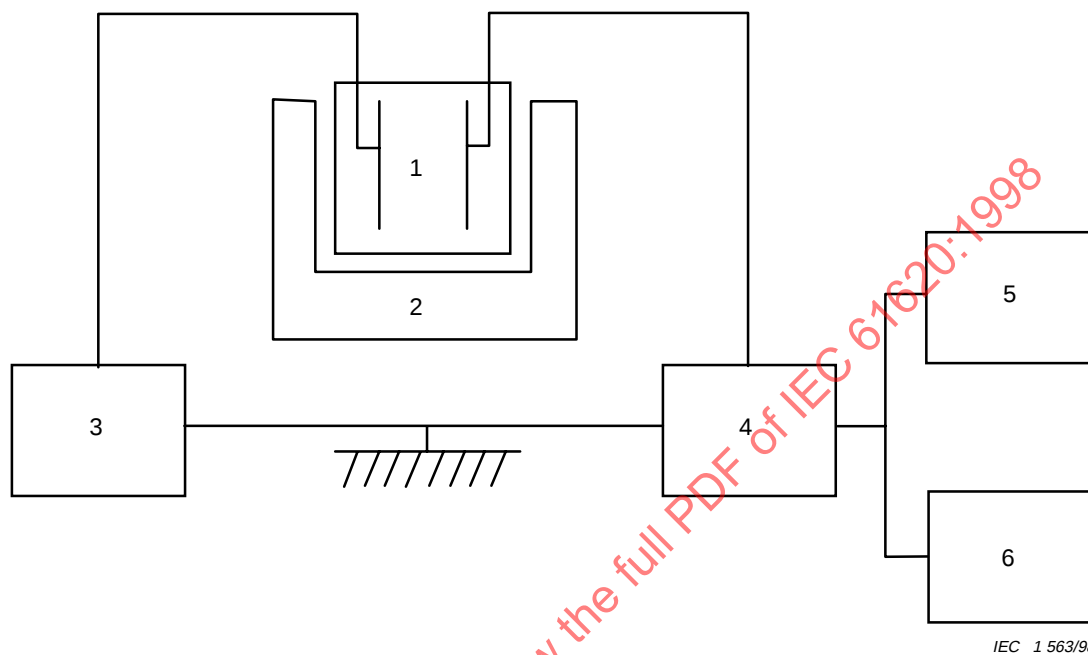
### 5.1 Cellule d'essai

Les cellules d'essai à trois bornes conçues selon les recommandations données dans la CEI 60247 conviennent en général pour cette mesure.

Un autre type de cellule d'essai dans laquelle aucun pont constitué par un isolant solide, quel qu'il soit, n'existe entre les deux électrodes de mesure comme illustré à la figure 3, peut être utilisé. Ce type de cellule s'avère être plus précis pour les liquides hautement isolants.

## 5 Apparatus

Apparatus specifically constructed or assembled from stand-alone instruments can be used to realize this measurement method. The block diagram shown in figure 2, and the following subclauses illustrate an appropriate equipment.



### Key

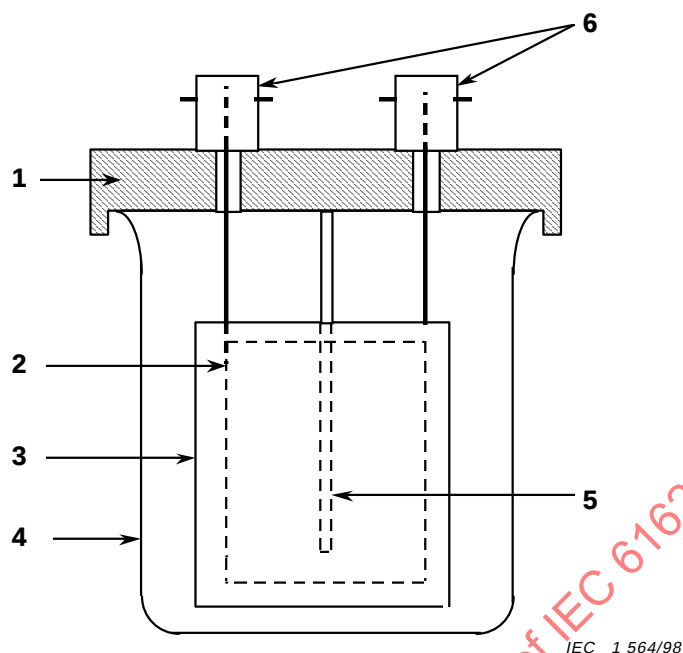
- 1 Test cell
- 2 Heating device
- 3 Square wave generator
- 4 Measurement chain
- 5 Meter
- 6 Recorder

Figure 2 – Block diagram for the measuring apparatus

### 5.1 Test cell

Three terminal test cells designed according to the recommendations given in IEC 60247 are generally suitable for this measurement.

An additional type of cell in which there is no bridge made by any solid insulating material between the measurement electrodes, as shown in figure 3, can be used. This type of cell often proves more accurate on highly insulating liquids.



#### Légende

- 1 Couverture
- 2 Electrode intérieure
- 3 Electrode extérieure
- 4 Récipient en acier inoxydable
- 5 Puits pour la mesure de la température
- 6 Connexions électriques par fiches BNC

**Figure 3 – Exemple de cellule d'essai pour liquides hautement isolants**

La distance entre les électrodes extérieure et intérieure est généralement de 4 mm; il convient que la distance minimale ne soit pas inférieure à 1 mm. Le matériau recommandé pour les électrodes est l'acier inoxydable. A titre d'exemple, le diamètre de l'électrode intérieure est de 43 mm, celui de l'électrode extérieure de 51 mm; la hauteur des électrodes est de 60 mm; le diamètre du récipient en acier inoxydable est de 65 mm.

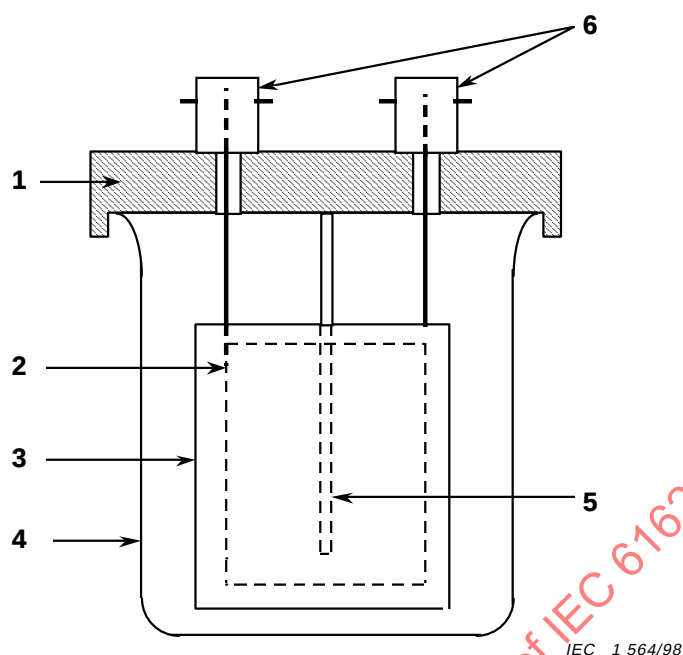
Une telle cellule d'essai a été conçue pour minimiser les effets de contamination par les surfaces en contact avec le liquide: bien que la surface en contact soit grande, le rapport  $\chi = \text{«surface des électrodes»/«volume de liquide»}$  est relativement faible ( $\chi = 2,6 \text{ cm}^{-1}$ ) en raison du grand volume de liquide ( $v = 200 \text{ cm}^3$ ).

NOTE – Il est recommandé de limiter l'usage d'une même cellule à un type particulier de liquides.

## 5.2 Dispositif de chauffage

Le dispositif de chauffage doit être capable de maintenir la température de la cellule de mesure à une valeur prescrite à  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Il peut s'agir d'une étuve à circulation d'air chaud ou d'un bain d'huile thermostatée reliés à un support de cellule adapté.

Le dispositif de chauffage doit permettre d'établir des connexions électriques blindées vers la cellule.



#### Key

- 1 Cover
- 2 Inner electrode
- 3 Outer electrode
- 4 Stainless steel vessel
- 5 Sheath for temperature measurement
- 6 BNC plugs for electrical connection

**Figure 3 – Example of a test cell designed for highly insulating liquids**

The distance between the outer and the inner electrode is typically 4 mm; the minimum distance should not be lower than 1 mm. The material recommended for the electrodes is stainless steel. As an example, the diameter of the inner electrode is 43 mm, that of the outer electrode is 51 mm; the height of the electrodes is 60 mm; the diameter of the stainless steel vessel is 65 mm.

This type of test cell was designed to minimise the effects of contamination from the surfaces in contact with the liquid: although the surface in contact is large, the ratio  $\chi$  = "electrode surfaces" / "liquid volume" is rather small ( $\chi = 2,6 \text{ cm}^{-1}$ ) due to the large volume of liquid ( $v = 200 \text{ cm}^3$ ).

NOTE – It is recommended to restrict the use of a given cell to a particular type of liquid.

## 5.2 Heating device

The heating device shall be adequate to maintain the temperature of the measurement cell within  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  of the prescribed value. It may consist of a forced draught air oven or an oil-filled thermostatically controlled bath fitted with a shelf to support the cell.

The heating device shall provide screened electrical connections to the cell.

### 5.3 Générateur d'onde rectangulaire

Le générateur d'onde rectangulaire doit délivrer une tension quasi rectangulaire hautement stabilisée. Les caractéristiques suivantes conviennent:

- amplitude: 10 V à 100 V;
- fréquence: 0,1 Hz à 1 Hz;
- taux d'ondulation: <1 %;
- temps de montée: 1 ms à 100 ms.

### 5.4 Chaîne de mesure

Le courant de conduction  $I_R$  est mesuré pendant la deuxième partie de chaque demi-période et moyenné sur un nombre de périodes dépendant de la gamme de mesures. La chaîne de mesure fournit la conductance  $G$  de la cellule d'essai

$$G = \frac{I_R}{V}$$

A titre d'exemple, le domaine des conductances mesurables est compris entre  $2 \times 10^{-6}$  S et  $2 \times 10^{-14}$  S avec une erreur inférieure à 2 %.

La capacité  $C$  de la cellule d'essai est obtenue à partir du courant mesuré pendant la montée de la tension. Les capacités mesurables sont comprises entre 10 pF et 1 000 pF avec une incertitude inférieure à 1 %.

Par exemple, pour un liquide de permittivité relative  $\epsilon_r = 2$ , une valeur de conductance de  $2 \times 10^{-14}$  S conduit à  $\tan \delta = 0,8 \times 10^{-6}$  à 50 Hz.

## 6 Echantillonnage

Les échantillons d'isolant liquide doivent être prélevés, suivant la CEI 60475, par du personnel qualifié. Durant leur transport et leur stockage, les échantillons doivent être à l'abri de la lumière directe.

## 7 Etiquetage

Tout échantillon d'isolant liquide doit être convenablement étiqueté avant expédition au laboratoire.

Les informations suivantes sont nécessaires:

- client ou usine;
- identification du liquide (type et qualité);
- identification de l'équipement;
- date et heure de la prise d'échantillon;
- température à l'échantillonnage;
- lieu de la prise d'échantillon;
- autres informations pertinentes.

### 5.3 Square wave generator

The square wave generator shall deliver a highly stable quasi-rectangular voltage. The following characteristics are suitable:

- amplitude: 10 V to 100 V;
- frequency: 0,1 Hz to 1 Hz;
- ripple: <1 %;
- rise time: 1 ms to 100 ms.

### 5.4 Measurement chain

The conduction current  $I_R$  through the test cell is measured during the second part of each half-wave and averaged over a number of periods depending on the range of measurement. The measuring chain gives the conductance  $G$  of the test cell.

$$G = \frac{I_R}{V}$$

As an example, the range of measurable conductance values is  $2 \times 10^{-6}$  S to  $2 \times 10^{-14}$  S with a margin of error of less than 2 %.

The capacitance  $C$  of the test cell is deduced from the current measured during the rise of the voltage. The measurable capacitance values are between 10 pF and 1 000 pF with an uncertainty of less than 1 %.

As an example, for a liquid of relative permittivity  $\epsilon_r = 2$ , a conductance value of  $2 \times 10^{-14}$  S gives  $\tan \delta = 0,8 \times 10^{-6}$  at 50 Hz.

## 6 Sampling

The insulating liquid samples shall be taken in accordance with IEC 60475 by qualified personnel. During transportation and storage the samples shall be protected from direct light.

## 7 Labelling

Insulating liquid samples shall be properly labelled before being dispatched to the laboratory.

The following information is necessary:

- customer or plant;
- identification of the liquid (type and grade);
- identification of equipment;
- date and time of sampling;
- temperature when sampling;
- point of sampling;
- other pertinent information.

## 8 Procédure

Pour obtenir une mesure correcte du facteur de dissipation  $\tan \delta$ , il est primordial de suivre des règles précises concernant

- un nettoyage soigneux de la cellule d'essai;
- un remplissage soigneux de la cellule d'essai et la manipulation des échantillons de liquide et de la cellule d'essai elle-même.

### 8.1 Nettoyage de la cellule d'essai

#### 8.1.1 Mode opératoire

Selon l'état de propreté de la cellule d'essai et le niveau de conductivité du liquide à mesurer, le mode opératoire de nettoyage de la cellule d'essai peut être plus ou moins élaboré et prendre plus ou moins de temps.

Si l'on n'a aucune connaissance de la propreté de la cellule ou si l'on a un doute, une procédure de nettoyage doit être effectuée.

Différents types de procédure de nettoyage peuvent être utilisés pourvu que leur efficacité ait été démontrée.

Dans l'annexe A, une procédure de référence est donnée. Elle doit être utilisée en cas de désaccord entre deux laboratoires.

Dans l'annexe B, une procédure simplifiée appropriée est donnée à titre d'exemple.

NOTE – Pour des essais de routine et quand plusieurs échantillons du même type de liquide neuf doivent être testés consécutivement, la même cellule d'essai peut être utilisée sans nettoyage intermédiaire, pourvu que la valeur de la propriété mesurée sur l'échantillon précédent soit meilleure que la valeur spécifiée. Si ce n'est pas le cas, il faut nettoyer la cellule d'essai avant de l'utiliser pour les essais suivants.

#### 8.1.2 Vérification de la propreté de la cellule vide

Une condition nécessaire pour une mesure correcte est que les pertes électriques de la cellule vide soient bien plus faibles que celles du liquide à mesurer.

NOTE – Les parois de la cellule et les électrodes peuvent néanmoins retenir des impuretés susceptibles d'être par la suite dissoutes dans le liquide.

#### 8.1.3 Vérification de la propreté de la cellule remplie pour des mesures à température ambiante

Si la cellule d'essai est parfaitement propre et si la température du liquide est constante,  $\sigma$  et  $\tan \delta$  sont indépendantes du temps. La mesure peut donc se faire aussi rapidement que possible dans la pratique. En fait, cela peut se faire en moins d'une minute. De plus, une seule mesure sur un seul échantillon suffit pour obtenir la bonne valeur.

Il peut arriver qu'à température constante, la conductivité  $\sigma$  (ou  $\tan \delta$ ) croisse ou décroisse en fonction du temps, mais pas plus de 2 % après les 2 min qui suivent le remplissage. Dans ce cas, la cellule de mesure est considérée comme suffisamment propre et la première valeur mesurée, c'est-à-dire après 1 min ou moins après remplissage, peut être notée.

Sinon, il est recommandé, après avoir nettoyé la cellule à nouveau, d'effectuer une nouvelle mesure sur un autre échantillon du même liquide. La plus faible des deux valeurs doit être retenue, comme cela a déjà été recommandé dans la CEI 60247.

## 8 Procedure

In order to get a significant measurement of dissipation factor  $\tan \delta$ , it is essential to follow precise rules concerning

- the careful cleaning of the test cell;
- the careful filling of the test cell and handling of the liquid samples and of the test cell itself.

### 8.1 Cleaning of the test cell

#### 8.1.1 Operating procedure

According to the state of cleanliness of the test cell and the level of conductivity of the liquid to be measured, the cleaning procedure of the test cell can be more or less sophisticated and take more or less time.

If the cleanliness of the test cell is unknown or if there is any doubt, a cleaning procedure shall be applied.

Many different types of cleaning procedure can be used provided they have proved to be efficient.

In annex A, a reference procedure is given. It shall be used in case of dispute between two laboratories.

In annex B, an appropriate simplified cleaning procedure is given as an example.

NOTE – For routine testing and when a number of samples of the same type of unused liquid are to be tested consecutively, the same test cell may be used without intermediate cleaning, provided that the value of the property for the sample previously tested is better than the specified value. If such is not the case, the test cell must be cleaned before being used for further tests.

#### 8.1.2 Checking the cleanliness of the empty cell

To obtain a significant measurement it is necessary that the electrical losses of the empty cell be much lower than those of the liquid to be measured.

NOTE – Nevertheless, the walls of the vessel and the electrodes may retain impurities liable to dissolve eventually in the liquid.

#### 8.1.3 Checking the cleanliness of the filled cell for measurement at room temperature

If the test cell is perfectly clean and if the temperature of the liquid is constant,  $\sigma$  and  $\tan \delta$  are independent of time. The measurement can thus be taken as soon as it is practically possible. In fact, this can be done within 1 min. Moreover, one measurement on a single sample is enough to obtain the right value.

It may happen that, at constant temperature, the conductivity  $\sigma$  (or  $\tan \delta$ ) increases or decreases with time, but not by more than 2 % at two minutes after filling. In this case the test cell is considered sufficiently clean and the first measured value, i.e. at one minute or less after filling, may be recorded.

If not, it is recommended, after having cleaned the test cell again, to take a second sample of the same liquid and to carry out a second measurement. The lowest of the two values shall be retained as already recommended in IEC 60247.

#### 8.1.4 Vérification de la cellule remplie pour la mesure à température supérieure à la température ambiante

Avant toute mesure à température élevée, s'assurer que la température du liquide est réellement constante dans toute la cellule. A l'exception du cas où la cellule d'essai est parfaitement propre, le résultat de la mesure dépendra de la façon dont la cellule d'essai et le liquide sont portés à haute température.

Si la cellule d'essai est parfaitement propre et si la température du liquide est constante, la conductivité  $\sigma$  et  $\tan \delta$  sont indépendantes du temps. La mesure peut donc être faite aussitôt. En pratique, elle peut être faite dès que la température peut être considérée comme constante. De plus, une seule mesure sur un seul échantillon est suffisante pour obtenir la bonne valeur.

Il peut arriver que, même si le liquide dans la cellule est à température constante, la conductivité  $\sigma$  (ou  $\tan \delta$ ) croisse ou décroisse en fonction du temps. Cela peut avoir différentes origines: par exemple un chauffage à température élevée peut modifier la composition de certains isolants liquides ou modifier la teneur en eau de particules. En pratique, la température n'est pas parfaitement constante et ses variations influencent bien entendu celles de  $\sigma$  (ou  $\tan \delta$ ). La conductivité  $\sigma$  (ou  $\tan \delta$ ) des liquides varie plus ou moins avec la température, selon la nature du liquide, typiquement jusqu'à 5 % par degré Celsius. L'origine des variations de  $\sigma$  (ou  $\tan \delta$ ) ne peut donc être déterminée que si les fluctuations de température sont suffisamment faibles. Ainsi, lorsque la dérive de  $\sigma$  (ou  $\tan \delta$ ) est inférieure à 2 % sur 2 min, la cellule d'essai est considérée comme suffisamment propre, et la valeur mesurée au bout d'une minute ou moins après que la température ait été considérée comme constante peut être notée.

Si la cellule n'est pas parfaitement propre, le temps de chauffage influencera les valeurs mesurées, même la première valeur, car les impuretés provenant de la cellule se dissolvent dans le liquide. La première valeur mesurée doit donc être rejetée et la cellule doit être à nouveau nettoyée.

#### 8.2 Précautions pour le remplissage de la cellule d'essai

Lorsque l'on remplit la cellule, s'assurer que l'atmosphère environnante est, autant que possible, dénuée de vapeurs et de gaz susceptibles de se dissoudre dans le liquide.

Les électrodes devront être immergées entièrement dans le liquide.

NOTE – Quand elle n'est pas utilisée, il faut stocker la cellule dans un dessiccateur.

#### 8.3 Température de l'essai

La mesure de la conductivité et du facteur de dissipation d'un liquide peut être faite à une température quelconque.

La température ambiante est recommandée en raison de la simplicité de mise en œuvre et du gain de temps qu'elle procure. Celle-ci étant essentiellement variable, on doit convenir d'une valeur (par exemple  $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ).

Il n'est pas exclu de faire l'essai à une température plus élevée (par exemple  $40\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ,  $90\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  ou plus).

#### 8.1.4 Checking the filled cell for measurement at temperature above room temperature

Before making any measurement at high temperature, ensure that the temperature of the liquid throughout the cell is constant. Except for cases where the test cell is perfectly clean, the result of the measurement will depend on the way in which the test cell and the liquid are brought to high temperature.

If the test cell is perfectly clean and if the temperature of the liquid is constant, the conductivity  $\sigma$  and  $\tan \delta$  are independent of time. The measurement can thus be taken immediately. Practically, the measurement can be taken as soon as the temperature can be considered constant. Moreover, one measurement on a single sample is enough to obtain the correct value.

It may happen that, even though the liquid in the test cell is at constant temperature, the conductivity  $\sigma$  (or  $\tan \delta$ ) increases or decreases with time. This can be due to different causes: e.g. heating at elevated temperatures may alter the composition of certain insulating liquids, or modify the moisture content of particles. In practice, temperature is not perfectly constant and its variations naturally influence the possible variations of  $\sigma$  (or  $\tan \delta$ ). The conductivity  $\sigma$  (or  $\tan \delta$ ) of liquids more or less varies with the temperature according to the nature of the liquid, typically up to 5 % per degree Celsius. Therefore, the origin of the variations of  $\sigma$  (or  $\tan \delta$ ) can only be determined if the temperature fluctuations are small enough. Then, if the drift of  $\sigma$  (or  $\tan \delta$ ) is less than 2 % over 2 min, the test cell is considered sufficiently clean, and the value measured one minute or less after temperature is considered as constant can be recorded.

If the test cell is not perfectly clean, the heating time will influence the values measured, even the first one, because the impurities coming from the test cell dissolve into the liquid. The first value measured shall therefore be rejected, and the test cell cleaned again.

#### 8.2 Precautions to be taken when filling the test cell

When filling the cell with the sample, ensure that the environmental atmosphere is, as far as possible, free of any vapours or gases liable to dissolve in the liquid.

The electrodes shall be entirely immersed in the liquid.

NOTE – When not in use, the cell must be stored in a desiccator.

#### 8.3 Test temperature

Measurement of the conductivity and of the dissipation factor of a liquid can be performed at any temperature.

Ambient temperature is recommended for its simplicity of operation and time-saving qualities. The ambient temperature being essentially variable, a fixed value shall be agreed (for instance  $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ).

There is nothing to prevent carrying out the test at a higher test temperature (for instance  $40\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ,  $90\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  or more).

## 8.4 Méthodes de chauffage

Pour effectuer une mesure à température élevée, plusieurs méthodes peuvent être utilisées. Le temps nécessaire à atteindre la température d'essai dépend de la méthode de chauffage et peut varier de 10 min à 60 min. Si la cellule d'essai n'est pas parfaitement propre, l'accroissement de conductivité dû à la dissolution progressive d'impuretés dépendra de la durée de la période de chauffage, et donc la conductivité mesurée dépendra de la méthode de chauffage.

Aussi est-il recommandé de chauffer la cellule le plus rapidement possible.

Une façon bien adaptée pour le faire est de chauffer séparément la cellule d'essai et le liquide placé dans un récipient propre. Une autre méthode consiste à chauffer rapidement le liquide dans la cellule elle-même.

NOTE – Un chauffage rapide simultané de la cellule et du liquide peut conduire à un gradient thermique important. Avant d'utiliser cette méthode, il convient de vérifier l'homogénéité de température pour le type de liquide en essai.

## 8.5 Mesure

Remplir la cellule avec l'échantillon en évitant toute pollution du liquide ou de la cellule (voir 8.2).

Contrôler la propreté selon 8.1.3. et 8.1.4. Si la cellule est suffisamment propre (voir 8.1), noter les valeurs de  $G$  et de  $C$ .

## 9 Expression des résultats

Les résultats peuvent être calculés en utilisant la formule suivante:

$$\tan \delta = \frac{G}{C\omega}$$

où

$G$  est la conductance, en siemens (S);

$C$  est la capacité en farad (F);

$\omega$  est la pulsation en radian par seconde (rad/s),  $\omega = 2\pi f$ ;

$f$  est la fréquence choisie en Hertz (Hz).

NOTE – Si la permittivité relative  $\epsilon_r$  est connue à la température de mesure, la conductivité du liquide peut être calculée d'après l'équation suivante:

$$\sigma = \frac{\epsilon G}{C}$$

où  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

## 10 Rapport d'essais

Le rapport doit inclure ce qui suit:

- identification de l'échantillon;
- température de l'essai;
- valeurs mesurées de  $G$  et  $C$ ;
- valeurs calculées de  $\tan \delta$ .

## 8.4 Heating methods

To perform a measurement at high temperature several heating methods can be used. The time required to reach the test temperature will depend on the heating method and may typically vary from 10 min to 60 min. If the test cell is not perfectly clean, the increase in conductivity due to the progressive dissolution of impurities will depend on the duration of the heating period, and the measured conductivity will therefore depend on the method of heating.

Thus it is recommended to heat the test cell as fast as possible.

A suitable way to achieve this is to heat separately the test cell and the liquid contained in a clean vessel. Another method consists in rapidly heating the liquid in the test cell itself.

NOTE – Rapidly heating the liquid and cell together may result in a significant thermal gradient. Before using such a method the uniformity of temperature should be verified for type of fluid being tested.

## 8.5 Measurement

Fill the cell with the sample avoiding any pollution of the liquid or of the cell (see 8.2).

Check cleanliness according to 8.1.3 and 8.1.4. If the cell is sufficiently clean (see 8.1), note the values of  $G$  and  $C$ .

## 9 Expression of results

Results may be calculated using the following equation:

$$\tan \delta = \frac{G}{C\omega}$$

where

$G$  is the conductance, in siemens (S);

$C$  is the capacitance, in farad (F);

$\omega$  is the angular frequency, in radian/second (rad/s),  $\omega = 2\pi f$ ;

$f$  is the chosen frequency, in Hertz (Hz).

NOTE – Provided that the relative permittivity  $\epsilon_r$  at the measuring temperature is known the conductivity of the liquid can be calculated by the following equation:

$$\sigma = \frac{\epsilon G}{C}$$

where  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

## 10 Test report

The report shall include the following:

- sample identification;
- temperature of test;
- measured values of  $G$  and  $C$ ;
- calculated values of  $\tan \delta$ .

## 11 Fidélité

### 11.1 Généralités

La fidélité d'une méthode d'essai exprime l'étroitesse de l'accord entre plusieurs résultats expérimentaux obtenus sur des échantillons identiques. Une estimation de la fidélité est donnée par la répétabilité  $r$  et la reproductibilité  $R$ , toutes deux définies dans l'ISO 5725-1. Les méthodes de calcul sont données dans l'ISO 5725-2, l'ISO 5725-3 et l'ISO 5725-4.

Les valeurs de  $r$  et  $R$  pour le facteur de dissipation d'un isolant liquide dépendent de la nature du liquide essayé, neuf ou usagé, et aussi de la température; ces valeurs sont altérées quand la  $\tan \delta$  est très faible (moins de  $10^{-4}$ ) comme c'est le cas pour les liquides hautement isolants qui sont facilement affectés par les impuretés, la manutention, le nettoyage de la cellule d'essai, etc.

### 11.2 Répétabilité ( $r$ )

Si deux mesures A et B sont obtenues dans un laboratoire à température ambiante, elle peuvent être considérées comme acceptables si la valeur absolue de la différence  $|A - B|$  satisfait à la relation suivante:

$$|A - B| < \alpha \text{ Min } (A, B)$$

où Min (A,B) est la plus faible des deux valeurs A et B.

Pour des isolants liquides neufs:  $\alpha = 0,2$

Pour des isolants liquides usagés:  $\alpha = 0,1$

### 11.3 Reproductibilité ( $R$ )

Si deux mesures A et B sont obtenues dans deux laboratoires différents à température ambiante, la relation ci-dessus est encore valable avec les valeurs suivantes de  $\alpha$ :

Pour des isolants liquides neufs:  $\alpha = 0,35$

Pour des isolants liquides usagés:  $\alpha = 0,20$

### 11.4 Exemples de valeurs de $r$ et $R$

Des exemples de valeurs de  $r$  et  $R$  sont donnés dans le tableau ci-dessous et sont déduits d'essais inter-laboratoires effectués à température ambiante sur des huiles minérales isolantes.

**Tableau 1 – Valeurs de  $r$  et  $R$  en fonction de l'état de l'huile minérale isolante**

|                       | $\tan \delta$        | $R$                  | $r$                  |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Huile minérale neuve  | $2 \times 10^{-6}$   | $1,2 \times 10^{-6}$ | $0,4 \times 10^{-6}$ |
| Huile minérale usagée | $1,5 \times 10^{-4}$ | $3,5 \times 10^{-5}$ | $1,2 \times 10^{-5}$ |
| Huile minérale usagée | $1 \times 10^{-3}$   | $1,2 \times 10^{-4}$ | $0,8 \times 10^{-4}$ |

## 11 Precision

### 11.1 General

The precision of a test method is the closeness of several experimental results obtained on identical samples. Assessment of the precision is given by the repeatability  $r$  and reproducibility  $R$ , both defined in ISO 5725-1. Calculation methods are given in ISO 5725-2, ISO 5725-3 and ISO 5725-4.

The values of  $r$  and  $R$  for the dielectric dissipation factor of an insulating liquid depend on the nature of the liquid under test, whether it is unused or used, and that of the temperature; these values are impaired when  $\tan \delta$  is very low (less than  $10^{-4}$ ), as found in highly insulating liquids which are readily affected by impurities, handling, cleaning of the test cell, etc.

### 11.2 Repeatability ( $r$ )

If two measurements  $A$  and  $B$  are obtained in one laboratory at room temperature, they can be considered acceptable if the absolute difference  $|A - B|$  satisfies the following relation:

$$|A - B| < \alpha \text{ Min } (A, B)$$

where  $\text{Min } (A, B)$  is the lowest of the two values  $A$  and  $B$ .

For unused insulating liquids:  $\alpha = 0,2$

For used insulating liquids:  $\alpha = 0,1$

### 11.3 Reproducibility ( $R$ )

If two measurements  $A$  and  $B$  are obtained in two different laboratories at room temperature, the above relation is still valid with the following values for  $\alpha$ :

For unused insulating liquids:  $\alpha = 0,35$

For used insulating liquids:  $\alpha = 0,20$

### 11.4 Examples of $r$ and $R$

Examples of  $r$  and  $R$  values are given in the table below and are deduced from inter-laboratory tests carried out at room temperature on mineral insulating oils.

**Table 1 – Values of  $r$  and  $R$  according to the condition of the mineral insulating oil**

|                    | $\tan \delta$        | $R$                  | $r$                  |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Unused mineral oil | $2 \times 10^{-6}$   | $1,2 \times 10^{-6}$ | $0,4 \times 10^{-6}$ |
| Used mineral oil   | $1,5 \times 10^{-4}$ | $3,5 \times 10^{-5}$ | $1,2 \times 10^{-5}$ |
| Used mineral oil   | $1 \times 10^{-3}$   | $1,2 \times 10^{-4}$ | $0,8 \times 10^{-4}$ |

## **Annexe A** (normative)

### **Procédure exhaustive de nettoyage des cellules d'essai**

- a) Vider la cellule d'essai et laisser égoutter le liquide qui reste sur les différentes parties de la cellule.
- b) Faire bouillir les différentes parties de la cellule (sans les démonter) pendant au moins 5 min dans une solution à 5 % de phosphate trisodique dans l'eau déionisée et rincer plusieurs fois à l'eau déionisée.
- c) Rincer pendant 5 min à l'eau du robinet.
- d) Faire bouillir dans l'eau désionisée pendant une demi-heure au moins.
- e) Sécher les différentes parties de la cellule dans une étuve propre à 105 °C pendant 2 h.
- f) Laisser refroidir les parties de la cellule jusqu'à la température ambiante dans un dessiccateur sans toucher la surface des électrodes avec les mains nues.
- g) Assembler les parties de la cellule, toujours sans toucher la surface des électrodes.
- h) Remplir la cellule d'isolant liquide à mesurer.
- i) Vider le premier remplissage et effectuer la mesure sur le second remplissage.

NOTE – Si la cellule nettoyée n'est pas utilisée immédiatement, la conserver dans un dessiccateur afin de la protéger d'éventuels contaminants.

## **Annex A** (normative)

### **Exhaustive cleaning procedure for the test cells**

- a) Empty the test cell and drain off the liquid which remains on the different parts of the cell.
- b) Boil the different parts of the cell (without dismantling them) for at least 5 min in a solution of about 5 % trisodium phosphate diluted in de-ionized water, followed by several rinses with de-ionized water.
- c) Rinse for 5 min under running tap water.
- d) Boil in de-ionized water for at least half an hour.
- e) Dry the different parts of the cell in a clean oven at 105 °C for 2 h.
- f) Let the parts of the cell cool down to room temperature in a desiccator without touching the electrode surface with bare hands.
- g) Assemble the parts of the cell, still without touching the electrode surface.
- h) Fill the cell with the insulating liquid to be measured.
- i) Empty the first filling and perform the measurement on the second filling.

NOTE – If the cleaned cell is not used immediately, keep it dry in a desiccator in order to protect it against any contaminants.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61620:1998

## Annexe B (normative)

### Procédure simplifiée de nettoyage des cellules d'essai consacrées aux mesures sur un seul type de liquide

Comme indiqué dans la CEI 60247, il peut être souhaitable de restreindre l'usage d'une cellule à une classe particulière de liquides. Dans ce cas, une procédure simplifiée de nettoyage est souvent suffisante. En fait, le degré requis de propreté de la cellule dépend du niveau de pertes du liquide que contenait la cellule auparavant par rapport au niveau de pertes attendu pour le liquide à mesurer. Pour cette raison, comme indiqué dans la CEI 60247, il n'est pas nécessaire qu'un nettoyage précède des mesures de routine faites à la suite d'une mesure pour laquelle la propriété mesurée est dans la limite de la valeur spécifiée. Dans ce cas, la cellule doit être stockée en étant remplie du liquide mesuré précédemment, de préférence dans un dessiccateur.

S'il convient de nettoyer la cellule, la procédure suivante doit être suivie:

1. vider la cellule et laisser égoutter le liquide qui reste sur les différentes parties de la cellule;
2. rincer pendant 5 min les différentes parties avec un solvant de pureté analytique approprié au liquide précédemment testé. Les solvants recommandés pour différents isolants liquides sont énumérés dans la note;
3. rincer les différentes parties avec de l'éthanol de pureté analytique;
4. les sécher dans une étuve propre pendant 3 h à 80 °C et les laisser refroidir jusqu'à température ambiante dans un dessiccateur;
5. remplir la cellule avec l'isolant liquide à mesurer;
6. vider le premier remplissage et effectuer la mesure sur le second remplissage.

NOTE – Solvants recommandés de pureté analytique:

Cyclohexane pour

- les hydrocarbures comme l'huile minérale (CEI 60296) [1];
- les polybutènes (CEI 60963) [4];
- alkylbenzène, mono/dibenzyltoluène, phénylxylyléthane et isopropylnaphtalène (CEI 60867) [3];

Ethanol pour

- les esters organiques comme le dioctylphtalate, les esters de tetra-alcools (CEI 61099) [5];

Toluène pour

- les liquides silicone (CEI 60836) [2].

## **Annex B**

(normative)

### **Simplified cleaning procedure for test cells devoted to only one type of liquid**

As stated in IEC 60247 it may be desirable to restrict the use of a cell to a particular class of liquids. In this case, a simplified cleaning procedure is often sufficient. In fact, the required degree of cleanliness of the test cell depends on the loss level of the liquid previously contained with respect to the expected loss level of the liquid to be measured. For this reason, as stated in IEC 60247, cleaning need not precede a routine measurement which is carried out following a measurement in which the property measured was within the limiting value specified. In this case, the test cell shall be stored filled with the previously measured liquid, preferably in a desiccator.

If it appears that the cell should be cleaned, the following procedure shall be applied:

- a) empty the test cell and drain off the liquid which remains on the different parts of the cell;
- b) rinse for 5 min the different parts with an analytical grade solvent appropriate to the previously tested liquid (the recommended solvents for the different insulating liquids are listed in the note);
- c) rinse the different parts with analytical grade ethanol;
- d) dry them in a clean oven at 80 °C for 3 h and let them cool down to room temperature in a desiccator;
- e) fill the cell with the insulating liquid to be measured;
- f) empty the first filling and perform measurement on the second filling.

NOTE – Recommended analytical grade solvents:

Cyclohexane for

- hydrocarbon liquids like mineral oil (IEC 60296) [1];
- polybutenes (IEC 60963) [4];
- alkylbenzene, mono/dibenzyltoluene, phenylxylethane and isopropyl-naphthalene (IEC 60867) [3];

Ethanol for

- organic esters like dioctylphthalate, tetrahydric alcohol esters (IEC 61099) [5];

Toluene for

- silicone liquids (IEC 60836) [2].

## Annexe C (informative)

### Considérations générales sur les facteurs influençant la conduction des liquides

#### C.1 Conductivité volumique

La conductivité  $\sigma$  est une quantité scalaire qui est reliée à l'intensité du champ électrique  $E$  et à la densité de courant de conduction  $j$  par la relation

$$j = \sigma E$$

Il s'agit d'une relation locale, connue comme la loi d'Ohm. Elle s'applique en tout point d'un matériau.

La conductivité  $\sigma$  dépend des propriétés du matériau lui-même et de celles de substances étrangères qu'il peut contenir;  $\sigma$  peut aussi dépendre de l'action du champ électrique sur le matériau.

Pour un matériau homogène, en particulier pour un liquide soumis à un champ faible,  $\sigma$  est constante dans tout le volume et la conductivité volumique est donc une caractéristique du liquide.

La conduction électrique sous champ faible de la plupart des isolants liquides est due à la dissociation et à la recombinaison d'ions d'une ou plusieurs substances ionisables.

A l'équilibre thermodynamique (sans champ appliqué ou avec un champ très faible), la conductivité volumique (exprimée en  $S\ m^{-1}$ ) est

$$\sigma = \sum_i k_i q_i$$

où

$k_i$  représente les mobilités des porteurs de charge positifs ou négatifs (les ions), en  $m^2/V \times s$ ;

$q_i$  représente les densités volumiques de charge, en  $C\ m^{-3}$ .

Par exemple, pour une seule substance ionisable

$$\sigma = k_+ q_+ + k_- q_-$$

$\sigma$  est donc une caractéristique de la pureté ionique du liquide.

Pour obtenir  $\sigma$ , il est nécessaire d'appliquer une tension  $V$  et de mesurer le courant  $I_R$  dans des conditions bien spécifiées en utilisant une cellule d'essai appropriée. En pratique, celle-ci est conçue pour produire un champ uniforme ou quasi uniforme.

## Annex C (informative)

### General considerations on the factors influencing the conduction of liquids

#### C.1 Volume conductivity

The conductivity  $\sigma$  is a scalar quantity which is related to the electric field strength  $E$  and to the conduction current density  $j$  by the relationship

$$j = \sigma E$$

This is a local relationship, known as Ohm's law. It applies at any location of a material.

Conductivity  $\sigma$  depends on the properties of the material itself and on those of the foreign substances that it may contain;  $\sigma$  may also depend on the action of the electric field upon the material.

For an homogeneous material, particularly for a liquid subjected to a low field,  $\sigma$  is constant throughout its volume and the volume conductivity is therefore a characteristic of the liquid.

The electrical conduction at low field of most of the insulating liquids is due to the dissociation and recombination of ions from one (or several) ionizable substance(s).

At thermodynamic equilibrium (with no field applied, or with a very small field), the volume conductivity (expressed in  $\text{S m}^{-1}$ ) is

$$\sigma = \sum_i k_i q_i$$

where

$k_i$  represents the mobilities of positive and negative charge carriers (ions), in  $\text{m}^2/\text{V} \times \text{s}$ ;

$q_i$  represents the volume charge densities, in  $\text{C m}^{-3}$

As an example, for a single ionizable substance

$$\sigma = k_+ q_+ + k_- q_-$$

$\sigma$  is a characteristic of the ionic purity of the liquid.

To obtain  $\sigma$ , it is necessary to apply a voltage  $V$  and measure a current  $I_R$  in well-specified conditions using a convenient test cell. Practically, the test cell is designed to ensure a uniform or quasi-uniform field.

Si l'écartement entre électrodes est  $L$  et la surface des électrodes est  $A$ , les relations utiles sont

$$E = \frac{V}{L}$$

$$\rightarrow \sigma = \frac{j}{E} = \frac{I_R L}{VA}$$

$$j = \frac{I_R}{A}$$

où  $\frac{V}{I_R}$  est la résistance  $R$  de la cellule remplie de liquide, en ohms;

$G = \frac{1}{R}$  est la conductance.

La résistivité volumique est l'inverse de la conductivité:  $\rho = \frac{1}{\sigma}$

## C.2 Facteur de dissipation diélectrique ( $\tan \delta$ )

Pour un matériau soumis à une tension sinusoïdale,  $\tan \delta$  est la valeur numérique du quotient de la partie imaginaire à la partie réelle de la permittivité complexe.

Pour une capacité  $C$  sans pertes, le courant capacitif  $I_C$  est en avance de  $\pi/2$  sur la tension  $V$  et son amplitude vaut

$$I_C = C\omega V$$

où  $\omega = 2\pi f$  et  $f$  est la fréquence de la tension.

Pour une capacité shuntée par une résistance  $R$ , le courant en phase est  $I_R = \frac{V}{R}$  et le courant total  $I^*$  est alors en avance sur  $V$  d'un angle  $\varphi$ .

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \delta$$

où

$\delta$  est l'angle de pertes, angle entre  $I^*$  et la composante capacitive  $I_C$  (voir figure 4);

et

$$\tan \delta = \frac{1}{RC\omega} \text{ ou } \tan \delta = \frac{G}{C\omega}$$