

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**62044-2**

Première édition  
First edition  
2005-03

---

---

**Noyaux en matériaux magnétiques doux –  
Méthodes de mesure –**

**Partie 2:  
Propriétés magnétiques à niveau  
d'excitation faible**

**Cores made of soft magnetic materials –  
Measuring methods –**

**Part 2:  
Magnetic properties at low excitation level**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 62044-2:2005

## Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

## Editions 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.

## Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tél: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

## Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

## Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

## Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. 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 also available from the following:

- **IEC Web Site** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**62044-2**

Première édition  
First edition  
2005-03

---

---

**Noyaux en matériaux magnétiques doux –  
Méthodes de mesure –**

**Partie 2:  
Propriétés magnétiques à niveau  
d'excitation faible**

**Cores made of soft magnetic materials –  
Measuring methods –**

**Part 2:  
Magnetic properties at low excitation level**

© IEC 2005 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, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**V**

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

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
1 Domaine d'application et objet.....	10
2 Références normatives.....	10
3 Définitions.....	10
4 Symboles.....	12
5 Conditions d'environnement.....	16
6 Précautions générales pour les méthodes concernant les mesures de perméabilité.....	16
6.1 Paramètres concernés.....	16
6.2 Montage de noyaux constitués de plus d'une partie.....	16
7 Précautions générales concernant la mesure des pertes à faible induction.....	16
7.1 Pertes contributives.....	16
7.2 Montage.....	18
8 Conditionnement magnétique.....	18
9 Mesure d'inductance.....	20
9.1 Généralités.....	20
9.2 Détermination du signal d'essai.....	20
9.3 Détermination de la bobine d'essai.....	22
9.4 Considérations pour l'alignement de noyaux pendant l'essai.....	26
9.5 Mesure d'inductance sous l'influence du champ magnétique à courant continu.....	28
9.6 Paramètres liés à la géométrie du noyau.....	30
9.7 Paramètres des matériaux magnétiques.....	32
10 Désaccommodation.....	36
11 Coefficient de température de perméabilité.....	36
11.1 Eprouvettes.....	36
11.2 Procédure de mesure.....	38
12 Pertes à faible induction.....	40
12.1 Objet.....	40
12.2 Bobine de mesure.....	40
12.3 Mesure de la perte par courant de Foucault et courant différentiel.....	40
12.4 Mesure de la perte par hystérésis.....	42
13 Distorsion harmonique totale.....	44
13.1 Éprouvette.....	44
13.2 Instrument et circuit de mesure.....	44
13.3 Procédure de mesure.....	44
13.4 Valeur $A_L$ et conditions d'enroulement pour la mesure de $THD_F$ .....	46
13.5 Caractéristiques de matériaux – $THD_F$ .....	46
14 Point de Curie.....	48
15 Impédance normalisée, conductivité parallèle et affaiblissement d'insertion.....	48
15.1 Généralités.....	48
15.2 Procédure de mesure.....	48
15.3 Impédance normalisée.....	50
15.4 Conductivité parallèle.....	50

## CONTENTS

FOREWORD.....	7
1 Scope and object.....	11
2 Normative references .....	11
3 Definitions .....	11
4 Symbols .....	13
5 Environmental conditions .....	17
6 General precautions for methods involving permeability measurements .....	17
6.1 Parameters involved .....	17
6.2 Mounting of cores consisting of more than one part .....	17
7 General precautions for loss measurement at low flux density .....	17
7.1 Contributory losses .....	17
7.2 Mounting .....	19
8 Magnetic conditioning .....	19
9 Inductance measurement.....	21
9.1 General .....	21
9.2 Determination of the test signal.....	21
9.3 Determination of the test coil .....	23
9.4 Considerations for core alignment during test.....	27
9.5 Measurement of inductance under the influence of d.c. magnetic field .....	29
9.6 Parameters related to core geometry .....	31
9.7 Magnetic material parameters .....	33
10 Disaccommodation .....	37
11 Temperature coefficient of permeability.....	37
11.1 Specimens .....	37
11.2 Measuring procedure .....	39
12 Losses at low flux density .....	41
12.1 Object .....	41
12.2 Measuring coil .....	41
12.3 Measurement of residual and eddy current loss.....	41
12.4 Measurement of the hysteresis loss .....	43
13 Total harmonic distortion .....	45
13.1 Specimen .....	45
13.2 Measuring instrument and circuit.....	45
13.3 Measuring procedure .....	45
13.4 $A_L$ value and winding conditions for $THD_F$ measurement.....	47
13.5 Material characteristics – $THD_F$ .....	47
14 Curie temperature.....	49
15 Normalized impedance, parallel conductivity, and insertion loss.....	49
15.1 General .....	49
15.2 Measuring procedure .....	49
15.3 Normalized impedance .....	51
15.4 Parallel conductivity.....	51

Annexe A (informative) Désaccommodation.....	52
Annexe B (informative) Conditions de mesure pour les essais de <i>THD</i> .....	56
Figure 1 – Représentation par l'illustration de l'effet de la fréquence de résonance propre sur la valeur de l'inductance mesurée.....	22
Figure 2 – Circuit de mesure <i>THD<sub>F</sub></i> .....	44
Figure 3 – Point de Curie .....	48
Figure B.1 – Induction en fonction du nombre de spires.....	56
Figure B.2 – Facteur de correction de circuit (CCF) en fonction du nombre de spires .....	60
Tableau 1 – Relation des spires d'essai à la structure magnétique, la fréquence d'essai et le facteur d'inductance $A_L$ .....	24
Tableau 2 – Spécimen de valeur $A_L$ et conditions d'enroulement pour la mesure de <i>THD<sub>F</sub></i> .....	46

Annex A (informative) Disaccommodation.....	53
Annex B (informative) Measurement conditions for <i>THD</i> testing .....	57
Figure 1 – Pictorial representation of the effect of self-resonant frequency on the value of measured inductance.....	23
Figure 2 – $THD_F$ measuring circuit .....	45
Figure 3 – Curie temperature .....	49
Figure B.1 – Flux density as a function of number of turns .....	57
Figure B.2 – Circuit correction factor (CCF) as a function of number of turns.....	61
Table 1 – Relationship of test turns to magnetic structure, test frequency and inductance factor $A_L$ .....	25
Table 2 – Specimen of $A_L$ value and winding conditions for $THD_F$ measurement .....	47

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**NOYAUX EN MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES DOUX –  
MÉTHODES DE MESURE –**

**Partie 2: Propriétés magnétiques à niveau d'excitation faible**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI 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 62044-2 a été établie par le comité d'études 51 de la CEI: Composants magnétiques et ferrites.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
51/804/FDIS	51/816/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.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**CORES MADE OF SOFT MAGNETIC MATERIALS –  
MEASURING METHODS –**
**Part 2: Magnetic properties at low excitation level**

## 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62044-2 has been prepared by IEC technical committee 51: Magnetic components and ferrite materials.

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

FDIS	Report on voting
51/804/FDIS	51/816/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.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La CEI 62044 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Noyaux en matériaux magnétiques doux – Méthodes de mesure*

Partie 1: Spécification générique

Partie 2: Propriétés magnétiques à niveau d'excitation faible

Partie 3: Propriétés magnétiques à niveau élevé d'excitation

Cette norme, ainsi que les CEI 62044-1 (2002) et CEI 62044-3 (2000), annulent et remplacent la CEI 60367-1 (1982), son amendement 1 (1984), son amendement 2 (1992), la CEI 60367-2 (1974), son amendement 1 (1983), et la CEI 60367-2A (1976).

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

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

IEC 62044 consists of the following parts, under the general title *Cores made of soft magnetic materials – Measuring methods*:

Part 1: Generic specification

Part 2: Magnetic properties at low excitation level

Part 3: Magnetic properties at high excitation level

This standard, together with IEC 62044-1 (2002) and IEC 62044-3 (2000), cancels and replaces IEC 60367-1 (1982), its amendment 1 (1984), its amendment 2 (1992), IEC 60367-2 (1974), its amendment 1 (1983) and IEC 60367-2A (1976).

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

# NOYAUX EN MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES DOUX – MÉTHODES DE MESURE –

## Partie 2: Propriétés magnétiques à niveau d'excitation faible

### 1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 62044 s'applique aux noyaux magnétiques, principalement en oxydes magnétiques ou en poudres métalliques, utilisés à faible niveau d'excitation dans des inductances et transformateurs pour le matériel de télécommunications et les dispositifs électroniques utilisant des techniques analogues.

Certaines des méthodes décrites dans la présente norme peuvent également être adaptées aux noyaux magnétiques utilisés dans d'autres composants.

La présente partie de la CEI 62044 donne des lignes directrices pour la rédaction des parties des spécifications pour les noyaux magnétiques qui concernent les méthodes de mesure pour les propriétés magnétiques et électriques. La présente partie de la CEI 62044 est limitée aux principes généraux à suivre pour diverses méthodes d'essais possibles et elle expose les facteurs à prendre en compte lors de la décision sur la description de la méthode d'essai à inclure dans la spécification.

NOTE Toutes les formules de la présente partie de la CEI 62044 utilisent les unités SI de base. Lorsque des multiples ou des sous-multiples sont utilisés, il convient que la puissance appropriée de 10 soit introduite. Le facteur de conversion pour les inductances et les facteurs d'inductance est le suivant:  $1 \text{ H} = 10^9 \text{ nH}$ .

### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

CEI 60205, *Calcul des paramètres effectifs des pièces ferromagnétiques*

CEI 60401-3:2003, *Termes et nomenclature pour noyaux en matériaux ferrites magnétique-doux – Partie 3: Lignes directrices relatives au format des données figurant dans les catalogues des fabricants de noyaux pour transformateurs et inductances*

CEI 62044-1:2002, *Noyaux en matériaux magnétiques doux – Méthodes de mesure – Partie 1: Spécification générique*

### 3 Termes et définitions

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

## **CORES MADE OF SOFT MAGNETIC MATERIALS – MEASURING METHODS –**

### **Part 2: Magnetic properties at low excitation level**

#### **1 Scope and object**

This part of IEC 62044 applies to magnetic cores, mainly made of magnetic oxides or metallic powders, used at low excitation level in inductors and transformers for telecommunication equipment and electronic devices employing similar techniques.

Some of the methods described in this part of IEC 62044 may also be suitable for magnetic cores used in other components.

This part of IEC 62044 gives guidance for the drafting of those parts of specifications for magnetic cores that are concerned with measuring methods for magnetic and electric core properties. This part of IEC 62044 is limited to the general principles to be followed for various possible test methods and sets out the factors to be taken into account when deciding on the description of the test method to be included in the specification.

NOTE All the formulae in this part of IEC 62044 use basic SI units. When multiples or submultiples are used, the appropriate power of 10 should be introduced. The conversion factor for inductances and inductance factors is as follows: 1 H = 10<sup>9</sup> nH.

#### **2 Normative references**

The following referenced documents are indispensable for the application 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 60205, *Calculation of the effective parameters of magnetic piece parts*

IEC 60401-3:2003, *Terms and nomenclature for cores made of magnetically soft ferrites – Part 3: Guidelines on the format of data appearing in manufacturers' catalogues of transformer and inductor cores*

IEC 62044-1:2002, *Cores made of soft magnetic materials – Measuring methods – Part 1: Generic specification*

#### **3 Terms and definitions**

For the purposes of this part of IEC 62044, the following terms and definitions apply.

### 3.1

#### distorsion harmonique totale (magnétique)

##### THD

distorsion de la forme d'onde provoquée par une relation non linéaire entre la densité de flux magnétique et la force de champ magnétique dans le noyau en ferrite exprimée comme suit:

$$THD = 20\lg(V_m / V_f) \quad (1)$$

où

$$V_m = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad (2)$$

$V_n$  est l'amplitude du  $n^{\text{ème}}$  composant harmonique de la quantité et  $V_f$  est l'amplitude du composant fondamental de la quantité

### 3.2

#### facteur de distorsion harmonique totale (magnétique)

##### THD<sub>F</sub>

expression mathématique utilisée pour l'évaluation des caractéristiques de matériaux magnétiques et donnée par:

$$THD_F = 20\lg\left(\frac{V_m / V_f}{\mu_{ea} / CCF}\right) \quad (3)$$

où

$$V_m = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad (4)$$

$V_n$  est l'amplitude du  $n^{\text{ème}}$  composant harmonique de la quantité et  $V_f$  est l'amplitude du composant fondamental de la quantité.

$$CCF = 1 / \sqrt{1 + (3\omega \cdot L_1 / R_s)^2} \quad (5)$$

NOTE 1  $CCF$  désigne le Facteur de Correction de Circuit et est donné dans l'approximation pour la troisième harmonique, qui est valable pour des mesures sans polarisation à courant continu appliquée.  $L_1$  est l'inductance primaire.  $R_s$  est la résistance totale de source (50  $\Omega$ ).

NOTE 2  $\mu_{ea}$  est la perméabilité d'amplitude effective.

## 4 Symboles

Les symboles normalisés suivants sont utilisés dans la présente norme.

$t$	temps
$T$	température en °C
$T_C$	point de Curie
$L$	inductance propre
$L_T$	inductance propre à température
$L_{\text{measured}}$	inductance vue à faible excitation à courant alternatif
$Z_{\text{measured}}$	impédance vue à faible excitation à courant alternatif

### 3.1 (magnetic) Total Harmonic Distortion *THD*

distortion of voltage waveform caused by non-linear relation between the magnetic flux density and the magnetic field strength in a ferrite core and expressed by:

$$THD = 20\lg(V_m/V_f) \quad (1)$$

where

$$V_m = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad (2)$$

$V_n$  is the amplitude of the  $n^{\text{th}}$  harmonic component of the quantity and  $V_f$  is the amplitude of the fundamental component of the quantity

### 3.2 (magnetic) Total Harmonic Distortion Factor *THD<sub>F</sub>*

mathematical expression used for the evaluation of characteristics of magnetic materials and given by:

$$THD_F = 20\lg\left(\frac{V_m/V_f}{\mu_{ea}/CCF}\right) \quad (3)$$

where

$$V_m = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad (4)$$

$V_n$  is the amplitude of the  $n^{\text{th}}$  harmonic component of the quantity and  $V_f$  is the amplitude of the fundamental component of the quantity

$$CCF = 1/\sqrt{1+(3\omega L_1/R_s)^2} \quad (5)$$

NOTE 1  $CCF$  stands for the Circuit Correction Factor and is given in the approximation for the third harmonic, which is valid for measurements without applied d.c. bias.  $L_1$  is primary inductance.  $R_s$  is total source resistance (50  $\Omega$ ).

NOTE 2  $\mu_{ea}$  is the effective amplitude permeability.

## 4 Symbols

The following standard symbols are used in this standard.

$t$	time
$T$	temperature in °C
$T_C$	curie temperature
$L$	self-inductance
$L_T$	self-inductance at temperature
$L_{\text{measured}}$	inductance seen at low a.c. excitation
$Z_{\text{measured}}$	impedance seen at low a.c. excitation

$R_{\text{measured}}$	partie imaginaire d'impédance vue à faible excitation à courant alternatif
$\mu_0$	constante magnétique: $0,4 \pi \times 10^{-6}$ H/m
$\mu_r$	perméabilité relative complexe (mesurée en mode inductance série)
$\mu_i$	perméabilité initiale
$\mu_e$	perméabilité effective
$\mu_{r,s}$	identique à $\mu_r$
$\mu_{r,p}$	perméabilité relative complexe (mesurée en mode inductance parallèle)
$\mu'_r$	partie réelle de perméabilité relative complexe (mesurée en mode inductance série)
$\mu'_{r,s}$	identique à $\mu'_r$
$\mu'_{r,p}$	partie réelle de perméabilité relative complexe (mesurée en mode inductance parallèle)
$\mu''_r$	partie imaginaire de perméabilité relative complexe (mesurée en mode inductance série)
$\mu''_{r,s}$	identique à $\mu''_r$
$\mu''_{r,p}$	partie imaginaire de perméabilité relative complexe (mesurée en mode inductance parallèle)
$\mu_T$	perméabilité initiale à température
$\mu_{ea}$	perméabilité d'amplitude effective
$N$	nombre de spires de bobines de mesure
$C_1$	constante de noyau définie dans la CEI 60205
$A_e$	section transversale efficace
$l_e$	longueur de trajet magnétique efficace
$\omega$	fréquence angulaire
$f$	fréquence
$f_L$	extrémité inférieure de la bande de fréquence
$U$	valeur efficace de la tension sinusoïdale
$V_m$	amplitude de tension de la racine carrée de la somme quadratique des amplitudes sur toutes les harmoniques
$V_f$	amplitude de tension à la fréquence fondamentale
$THD$	distorsion harmonique totale (magnétique)
$THD_F$	facteur de distorsion harmonique totale (magnétique)
$CCF$	facteur de correction de circuit (pour le calcul de $THD_F$ )
$\hat{B}$	induction de crête: identique à la l'induction à courant alternatif
$A_L$	facteur d'inductance
$l_g$	longueur d'entrefer efficace
$A_g$	zone d'entrefer efficace
$\alpha_\mu$	coefficient de température de perméabilité
$\alpha_F$	facteur de température

$R_{\text{measured}}$	imaginary part of impedance seen at low a.c. excitation
$\mu_0$	magnetic constant: $0,4 \pi \times 10^{-6}$ H/m
$\mu_r$	complex relative permeability (measured in series inductance mode)
$\mu_i$	initial permeability
$\mu_e$	effective permeability
$\mu_{r,s}$	same as $\mu_r$
$\mu_{r,p}$	complex relative permeability (measured in parallel inductance mode)
$\mu'_r$	real part of complex relative permeability (measured in series inductance mode)
$\mu'_{r,s}$	same as $\mu'_r$
$\mu'_{r,p}$	real part of complex relative permeability (measured in parallel inductance mode)
$\mu''_r$	imaginary part of complex relative permeability (measured in series inductance mode)
$\mu''_{r,s}$	same as $\mu''_r$
$\mu''_{r,p}$	imaginary part of complex relative permeability (measured in parallel inductance mode)
$\mu_T$	initial permeability at temperature
$\mu_{ea}$	effective amplitude permeability
$N$	number of turns of measuring coil
$C_1$	core constant defined in IEC 60205
$A_e$	effective cross-sectional area
$l_e$	effective magnetic path length
$\omega$	angular frequency
$f$	frequency
$f_L$	lower end of frequency band
$U$	r.m.s. value of sinusoidal voltage
$V_m$	voltage amplitude of the square root of the quadratic sum of the amplitudes over all harmonics
$V_f$	voltage amplitude at the fundamental frequency
$THD$	(magnetic) total harmonic distortion
$THD_F$	(magnetic) total harmonic distortion factor
$CCF$	circuit correction factor (for $THD_F$ calculation)
$\hat{B}$	peak flux density: same as a.c. flux density
$A_L$	inductance factor
$l_g$	effective air-gap length
$A_g$	effective gap area
$\alpha_\mu$	temperature coefficient of permeability
$\alpha_F$	temperature factor

$\tan \delta$	angle de perte pour tangente
$\tan \delta_e$	angle de perte pour tangente pour noyau à entrefer
$(\tan \delta/\mu)_h$	facteur de perte par hystérésis
$\eta_B$	constante d'hystérésis du matériau
$Z_N(f)$	impédance normalisée
$g_p(f)$	conductivité parallèle
$R_p(f)$	résistance parallèle
$a_c(f)$	perte d'insertion du fait de la contribution du noyau
$D$	désaccommodation
$D_F$	facteur de désaccommodation

## 5 Conditions d'environnement

Les conditions d'environnement doivent être conformes à l'Article 3 de la CEI 62044-1.

## 6 Précautions générales pour les méthodes concernant les mesures de perméabilité

### 6.1 Paramètres concernés

La perméabilité effective d'un noyau dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels on peut citer l'histoire magnétique, la durée, la température, le champ, la pression mécanique, la fréquence du courant de mesure, la géométrie du noyau et la position de la bobine de mesure. Diverses méthodes décrites dans la présente norme choisissent un de ces facteurs à la fois, par exemple la durée ou la température, et il convient que des précautions au cours de ces mesures visent à l'élimination de l'influence de tous les autres facteurs. Par exemple, il convient qu'un dispositif de fixation fasse de sorte que la pression demeure constante en temps et avec la température, de manière à ce que le résultat de mesure ne soit pas influencé par le changement de pression.

### 6.2 Montage de noyaux constitués de plus d'une partie

Le montage des noyaux doit être conforme à la CEI 62044-1.

## 7 Précautions générales concernant la mesure des pertes à faible induction

### 7.1 Pertes contributives

A faible induction (c'est-à-dire dans le domaine de Rayleigh), la perte mesurée sur un noyau au moyen d'une bobine ou d'un autre dispositif d'accouplement est due à un certain nombre de causes, dont certaines peuvent être inhérentes au noyau lui-même, certaines encore au dispositif d'accouplement et d'autres à la connexion entre le dispositif d'accouplement et l'instrument de mesure. Pour les mesures avec les bobines, on peut distinguer les pertes contributives suivantes: la perte de noyau; la perte de noyau courant continu; les pertes dues à l'effet de peau et l'effet de proximité; la perte diélectrique dans la bobine; la perte dans les fils de connexion et la perte de tout composant associé (par exemple le condensateur résonant).

Il convient d'essayer d'isoler la perte de noyau de la perte totale mesurée, soit par une correction soit par le choix des conditions de manière à rendre négligeables les autres pertes contributives. La perte de bobine à courant continu et la perte dans tout composant associé peuvent être mesurées séparément; les autres pertes contributives peuvent être soit calculées soit déterminées de manière expérimentale.

$\tan \delta$	tangent loss angle
$\tan \delta_e$	tangent loss angle for gapped core
$(\tan \delta/\mu)_h$	hysteresis loss factor
$\eta_B$	hysteresis material constant
$Z_N(f)$	normalized impedance
$g_p(f)$	parallel conductivity
$R_p(f)$	parallel resistance
$a_c(f)$	insertion loss due to core contribution
$D$	disaccommodation
$D_F$	disaccommodation factor

## 5 Environmental conditions

The environmental conditions shall comply with Clause 3 of IEC 62044-1.

## 6 General precautions for methods involving permeability measurements

### 6.1 Parameters involved

The effective permeability of a core depends upon many factors, among which are the magnetic history, time, temperature, field strength, mechanical pressure, frequency of measuring current, core geometry and position of the measuring coil. Various methods described in this standard single out one of these factors at a time, for example, time or temperature, and precautions during these measurements should be directed towards eliminating the influence of all other factors. For example, a clamping device should be such that the pressure remains constant in time and with temperature, so that the measuring result is not influenced by changing pressure.

### 6.2 Mounting of cores consisting of more than one part

The mounting of cores shall be in accordance with IEC 62044-1.

## 7 General precautions for loss measurement at low flux density

### 7.1 Contributory losses

At low flux density (i.e. within the Rayleigh region), the loss measured on a core by means of a coil or other coupling device is due to a number of causes; some may be inherent in the core itself, some in the coupling device and some in the connection between the coupling device and the measuring instrument. For measurements with coils, the following contributory losses can be distinguished: core loss; d.c. coil loss; losses due to skin effect and proximity effect; dielectric loss in the coil; loss in connecting wires and loss in any associated component (for example, resonating capacitor).

An attempt should be made to isolate the core loss from the total loss measured, either by correction or by choosing the conditions so as to make the other contributory losses negligible. The d.c. coil loss and the loss in any associated component can be measured separately; the other contributory losses may be either calculated or determined experimentally.

La détermination de la perte de noyau ne présente pas de difficultés inacceptables pour les noyaux en ferrite sans entrefer ou avec un entrefer très petit (comme les tores et les noyaux formés sans entrefer volontaire) car, avec une bobine de conception appropriée, la perte de noyau est alors sensiblement plus élevée que n'importe quelles autres pertes contributives.

Ceci peut ne pas être le cas pour la mesure des pertes sur les noyaux à entrefer pour lesquels il peut être difficile d'obtenir un résultat suffisamment précis pour la perte de noyau seule. Deux méthodes peuvent alors être suivies:

- a) Mesurer le facteur de perte avant que l'entrefer ne soit rectifié et calculer la perte dans le noyau à entrefer.

NOTE Il n'est pas permis de mesurer le facteur de perte sur un noyau sans entrefer dont la géométrie est différente de celle du noyau à entrefer, par un exemple, sur un tore de même matériau, étant donné que la perte de noyau par courants de Foucault dépend largement de la géométrie du noyau. Cependant, la mesure effectuée sur les noyaux avec un trou central enroulé comme un tore est acceptable.

- b) Ne pas essayer pas de séparer la perte de bobine et de noyau mais comparer la perte associée du noyau et de la bobine de mesure avec les résultats obtenus par des mesures similaires sur d'autres noyaux en utilisant une bobine de construction identique et ayant la même résistance à courant continu.

La meilleure politique est d'obtenir ceci en mesurant les bobines par la même source ou au moins selon la même spécification, qui devrait de préférence inclure la valeur de résistance à courant continu de la bobine (vide).

## 7.2 Montage

L'accouplement entre le champ parasite du noyau et des objets étrangers doit être évité. Les connexions entre la bobine de mesure ou un autre dispositif d'accouplement et l'instrument de mesure doivent être courtes, directes et fixées de sorte que le mouvement de l'éprouvette ne puisse provoquer une erreur supplémentaire. Il est également recommandé d'effectuer une torsion des conducteurs de raccordement pour faire en sorte que les champs électromagnétiques induits dans les parties adjacentes se neutralisent partiellement mutuellement.

Les noyaux de plus d'une partie qui s'assemblent autour de la bobine de mesure doivent en général être fixés comme spécifié dans l'Article 4 de la CEI 62044-1.

NOTE 1 Concernant la force de fixation pour les mesures de  $\tan \delta$ ,  $\eta_B$  et  $THD_F$ , il est recommandé de maintenir la force de fixation égale à 0,2 N/mm<sup>2</sup>, avec une tolérance relative de  $\pm 10 \%$  et d'appliquer la force uniquement dans un sens perpendiculaire à la surface de contact.

NOTE 2 Concernant la force de fixation pour la mesure de  $A_L$ ,  $\alpha_F$ ,  $D_F$  et  $Z_N$ , il est recommandé de maintenir la force de fixation dans la plage 0,6 N/mm<sup>2</sup> à 1,0 N/mm<sup>2</sup> pour les noyaux pour lesquels la section transversale efficace ( $A_e$ ) est inférieure à 50 mm<sup>2</sup> et de maintenir la force à 50 N, avec une tolérance relative de  $\pm 10 \%$ , pour les noyaux avec une section transversale efficace ( $A_e$ ) supérieure à 50 mm<sup>2</sup>.

Le positionnement de la bobine de mesure sur le noyau doit être comme décrit en 9.3.

## 8 Conditionnement magnétique

Pour atteindre un état magnétique bien défini et reproductible d'un noyau avant les mesures, le conditionnement magnétique doit être effectué conformément à l'Article 5 de la CEI 62044-1.

The determination of the core loss does not present undue difficulties for ferrite cores without an air-gap or with a very small air-gap (for example, toroids and shaped cores without intentional air-gap) because, with a suitably designed coil, the core loss is then appreciably higher than any other of the contributory losses.

This may not be the case for loss measurement on gapped cores for which it may be difficult to obtain a sufficiently accurate result for the core loss alone.

Two methods may then be followed.

- a) Measure the loss factor with gapless core and calculate the loss in the gapped core.

NOTE It is not permissible to measure the loss factor on an ungapped core having a geometry different from that of the gapped core, for example, on a toroid of the same material, since the eddy-current core loss strongly depends upon the core geometry. However, the measurement on cores with a centre-hole wound as a toroid is acceptable.

- b) Make no attempt to separate core and coil losses but compare the combined loss of the core and the measuring coil with the results obtained from similar measurements on other cores using a coil of identical construction and having the same d.c. resistance.

The best policy is to obtain these measuring coils from the same source or at least according to the same specification, which should include the d.c. resistance value of the (empty) coil.

## 7.2 Mounting

Coupling between the stray field of the core and extraneous objects shall be avoided. Connections between the measuring coil or other coupling device and the measuring instrument shall be short, direct and so fixed that movement of the specimen cannot cause additional error. It is also advisable to twist the connection leads to make electromagnetic fields induced in adjacent parts partly counteract each other.

Cores of more than one part that assemble around the measuring coil shall in general be clamped as specified in Clause 4 of IEC 62044-1.

NOTE 1 Regarding the clamping force for  $\tan \delta$ ,  $\eta_B$  and  $THD_F$  measurement, it is recommended that the clamping force be kept equal to 0,2 N/mm<sup>2</sup>, with a relative tolerance of  $\pm 10\%$  and to apply the force only in a direction perpendicular to the mating surface.

NOTE 2 Regarding the clamping force for  $A_L$ ,  $\alpha_F$ ,  $D_F$  and  $Z_N$  measurement, it is recommended that the clamping force be maintained in the range 0,6 N/mm<sup>2</sup> through 1,0 N/mm<sup>2</sup> for cores for which the effective cross-sectional area ( $A_e$ ) is less than 50 mm<sup>2</sup> and at 50 N, with a relative tolerance of  $\pm 10\%$ , for cores with an effective cross-sectional area ( $A_e$ ) greater than 50 mm<sup>2</sup>.

The positioning of the measuring coil on the core shall be as described in 9.3.

## 8 Magnetic conditioning

To arrive at a well-defined and reproducible magnetic state of a core before the measurements, magnetic conditioning shall be carried out in accordance with Clause 5 of IEC 62044-1.

## 9 Mesure d'inductance

### 9.1 Généralités

L'Article 9 fournit des instructions générales pour la mesure d'inductance de l'inducteur et les enroulements de transformateur, sans entrer dans les détails de la méthode, qui dépendent de l'instrument électrique utilisé pour la mesure.

Il convient de distinguer trois objets de mesure:

- a) pour obtenir la valeur absolue du paramètre d'inductance du noyau;
- b) pour obtenir la dépendance de la valeur d'inductance dans certaines conditions;
- c) pour appliquer les résultats des mesures dans les équations pour déterminer la perméabilité magnétique du matériau de noyau pour des conditions spécifiques.

### 9.2 Détermination du signal d'essai

Des analyseurs de propriétés magnétiques<sup>1</sup> en courant alternatif sont utilisés pour effectuer les mesures d'inductance. La capacité de l'équipement doit être telle qu'elle puisse fournir un signal à courant alternatif sinusoïdal avec une fréquence sélectionnable et soit une tension sélectionnable soit un courant sélectionnable. Le signal d'essai fourni par cet équipement a des limites pour l'amplitude de la tension et du courant. La limite supérieure pour la tension à courant alternatif pour ce type d'équipement se situe généralement entre 1 V<sub>eff</sub> et 20 V<sub>eff</sub>. La limite de courant alternatif pour ce type d'équipement se situe généralement entre 0,010 A<sub>eff</sub> et 0,020 A<sub>eff</sub>. Les mesures sont effectuées en utilisant le mode série à moins que le mode parallèle ne soit spécifié.

La précision de l'équipement de mesure recommandé varie en fonction du niveau d'impédance ou d'inductance à différentes fréquences. Un niveau d'impédance dans la plage comprise entre 50 Ω et 1 000 Ω est généralement exigé pour obtenir les niveaux exigés de tension et courant. La précision désirée de l'équipement d'essai doit être vérifiée pour des niveaux d'impédance spécifiques à différentes fréquences.

La fréquence du courant de mesure et de l'induction de crête doit être indiquée.

NOTE L'induction de crête dans un noyau,  $B$ , également désignée par induction à courant alternatif, est calculée par:

$$B = \frac{\sqrt{2}U}{2\pi \times f \times N \times A_e} \quad (6)$$

où

- $B$  est exprimé en Teslas (T);
- $U$  est la valeur efficace de la tension sinusoïdale appliquée à la bobine;
- $f$  est la fréquence de signal (Hz);
- $N$  est le nombre de spires;
- $A_e$  est la section transversale efficace (en m<sup>2</sup>, 1 m<sup>2</sup> = 10<sup>6</sup> mm<sup>2</sup>).

L'induction de crête recommandée est 0,5 mT. Cette valeur de l'induction se situe dans le domaine de Rayleigh.

Les fréquences d'essais recommandées sont soit 10 kHz soit 100 kHz. La sélection de 10 kHz ou 100 kHz est effectuée conformément aux critères suivants:

<sup>1</sup> Par exemple des appareils de mesure LCR ou les analyseurs d'impédance.

## 9 Inductance measurement

### 9.1 General

Clause 9 provides general instructions for the measurement of inductance of inductor and transformer windings, without going into details of the method, which depends upon the electrical instrument used for the measurement.

Three measurement purposes should be distinguished:

- a) to obtain the absolute value of the inductance parameter of the core;
- b) to obtain the dependence of the inductance value under certain conditions;
- c) to apply results of measurements in equations determining the magnetic permeability of the core material for specific conditions.

### 9.2 Determination of the test signal

AC magnetic property analysers<sup>1</sup> are used to make inductance measurements. The capability of the equipment shall be such that it can provide a sinusoidal a.c. signal with a selectable frequency and either a selectable voltage or selectable current. The test signal provided by this equipment has limitations for the magnitude of the voltage and the current. The upper limit for a.c. voltage for this type of equipment is typically between 1 V<sub>r.m.s.</sub> and 20 V<sub>r.m.s.</sub>. The a.c. current limit for this type of equipment is typically 0,010 A<sub>r.m.s.</sub> and 0,020 A<sub>r.m.s.</sub>. Measurements are made using the series mode unless the parallel mode is specified.

The accuracy of the recommended measurement equipment varies as a function of impedance or inductance level at different frequencies. An impedance level in the range 50 Ω to 1 000 Ω is typically required to obtain the required levels of voltage and current. The desired accuracy of the test equipment shall be verified for specific impedance levels at different frequencies.

The frequency of the measuring current and the peak flux density shall be stated.

NOTE The peak flux density in a core,  $B$ , also called the a.c. flux density, is calculated from:

$$B = \frac{\sqrt{2}U}{2\pi \times f \times N \times A_e} \quad (6)$$

where

- $B$  is expressed in Tesla (T);
- $U$  is the r.m.s. value of the sinusoidal voltage applied to the coil;
- $f$  is the signal frequency (Hz);
- $N$  is the number of turns;
- $A_e$  is the effective cross-sectional area (in m<sup>2</sup>, 1 m<sup>2</sup> = 10<sup>6</sup> mm<sup>2</sup>).

The recommended peak flux density is 0,5 mT. This value of flux density is within the Rayleigh region.

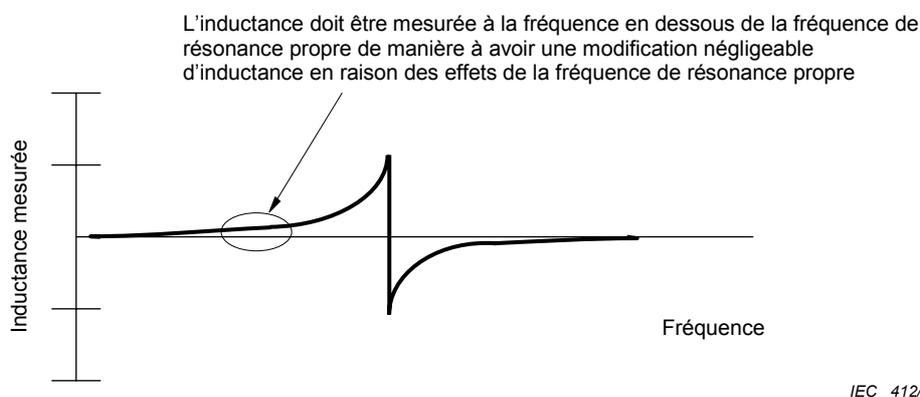
The recommended test frequencies are either 10 kHz or 100 kHz. Selection of 10 kHz or 100 kHz is made in accordance with the following criteria:

---

<sup>1</sup> For example, LCR meters or impedance analysers.

- a) la capacité de l'équipement d'essai à fournir la tension à courant alternatif nécessaire et le courant alternatif nécessaire, à l'impédance prévue de l'unité en essai;
- b) la capacité de l'équipement à fournir la précision nécessaire;
- c) il convient que la fréquence d'essai soit suffisamment éloignée de la fréquence de résonance propre, de sorte que la modification de la fréquence d'essai par un facteur de deux (2) ait un effet négligeable (inférieur à 10 %) sur la valeur mesurée;
- d) la dépendance de fréquence de la perméabilité du matériau magnétique a un effet négligeable, de sorte que la modification de la fréquence d'essai par un facteur de deux (2) aurait un effet négligeable (inférieur à 10 %) sur la valeur mesurée.

Une représentation par l'illustration de la plage de fréquences appropriée à utiliser pour mesurer l'inductance de manière à éviter les effets de la fréquence de résonance propre est fournie à la Figure 1.



**Figure 1 – Représentation par l'illustration de l'effet de la fréquence de résonance propre sur la valeur de l'inductance mesurée**

### 9.3 Détermination de la bobine d'essai

#### 9.3.1 Généralités

Normalement, une bobine de mesure est utilisée, mais en principe tout autre dispositif adapté fournissant l'interaction nécessaire entre le matériau magnétique et le signal électromagnétique peut également être utilisé.

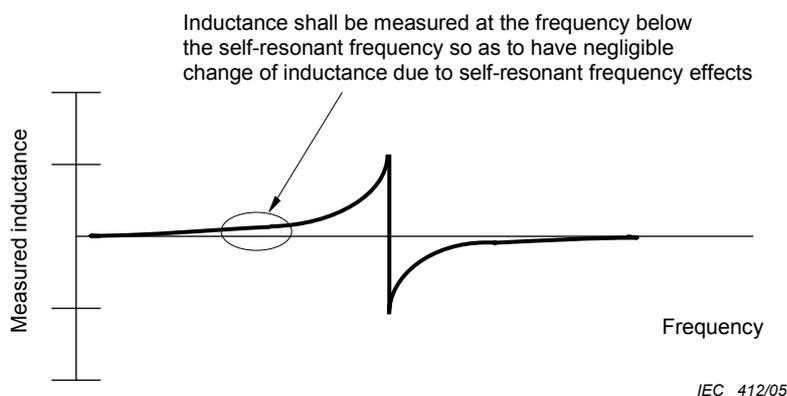
La mesure d'inductance de la combinaison d'une bobine et d'un noyau magnétique est sensible aux éléments suivants:

- a) le nombre de spires;
- b) le type de conducteur, sa taille et sa géométrie;
- c) l'emplacement et l'orientation du conducteur par rapport au trajet du flux magnétique et;
- d) le degré de remplissage de la zone d'enroulement du noyau.

La spécification d'essai doit inclure une description de la bobine d'essai avec une précision suffisante de sorte d'aborder chacune de ces sensibilités.

- a) the capability of the test equipment to provide the required a.c. voltage and a.c. current to the expected impedance of the unit under test;
- b) the capability of the equipment to provide the required accuracy;
- c) the test frequency should be suitably far away from the self-resonant frequency, so that changing the test frequency by a factor of two (2) would have a negligible (less than 10 %) effect on the measured value;
- d) the frequency dependence of the magnetic material's permeability has negligible effect, so that changing the test frequency by a factor of two (2) would have a negligible (less than 10 %) effect on the measured value.

A pictorial representation of the proper frequency range to use to measure inductance so as to avoid the effects of self-resonant frequency is provided in Figure 1.



**Figure 1 – Pictorial representation of the effect of self-resonant frequency on the value of measured inductance**

### 9.3 Determination of the test coil

#### 9.3.1 General

Normally, a measuring coil is used, but, in principle, any other suitable device providing the necessary interaction between the magnetic material and the electromagnetic signal may also be used.

The inductance measurement of the combination of a coil and a magnetic core is sensitive to

- a) the number of turns;
- b) conductor type, size and geometry;
- c) conductor location and orientation with respect to the magnetic flux path;
- d) the degree of filling of the core's winding area.

The test specification shall include a description of the test coil in enough detail so as to address each of these sensitivities.

Le nombre recommandé de spires pour obtenir la résolution appropriée pour une mesure correcte est indiqué dans le Tableau 1 pour les deux fréquences de signal recommandées en 9.2 et trois structures différentes de noyaux. Chacune des trois structures de noyaux utilise un type distinct d'enroulement: les enroulements toroïdaux pour les tores, les bobines enroulées concentriquement pour les noyaux formés, et la construction de bobines planaires pour noyaux planaires.

**Tableau 1 – Relation des spires d'essai à la structure magnétique, la fréquence d'essai et le facteur d'inductance  $A_L$**

	Spires	Fréquence kHz	$A_L$ nH/N <sup>2</sup>
Tore	1	10	> 10 000
		100	> 1 000
	10	10	> 100
		100	> 10
	100	10	NA
		100	NA
Noyaux utilisant un support de bobinage	1	10	NA
	10	10	NA
	100	10	> 10
Noyaux utilisant un enroulement planaire	1	10	NA
		100	NA
	10	10	> 100
		100	> 10
	100	10	NA
		100	NA

### 9.3.2 Recommandations pour les tores

Les tores à entrefer sont particulièrement sensibles à l'emplacement des conducteurs. Pour le cas spécifique des tores à entrefer, la position de la ou des spires par rapport à l'entrefer ou aux entrefers doit être spécifiée. Les tores sans entrefer sont moins sensibles à l'emplacement des conducteurs.

Pour la mesure sur les tores qui nécessitent 10 spires, les spires de la bobine de mesure doivent être réparties de manière égale sur la circonférence du noyau.

Pour les tores sans entrefer pour lesquelles la perméabilité initiale est inférieure à 100, un dispositif à cavité doit être utilisé pour la mesure ou la corrélation.

### 9.3.3 Recommandations pour les noyaux utilisant un support de bobinage

Il est recommandé d'utiliser, comme bobine normalisée, un support de bobinage qui est totalement enroulé (au-dessus de 85 % de la zone d'enroulement) avec un fil de bobinage, utilisant un enroulement en couches conventionnel, en conformité avec le nombre de spires du Tableau 1, et remplissant les conditions du point c) de 9.2. Cependant, plus le noyau est grand, plus il est difficile d'obtenir un support de bobinage complètement enroulé, du fait des conducteurs minces.

Lorsqu'une bobine d'essai spéciale est utilisée, qui diffère de manière significative, du point de vue de la conception, de la bobine normalisée, alors la corrélation est nécessaire.

The recommended number of turns to obtain adequate resolution for a correct measurement is indicated in Table 1 for the two signal frequencies recommended in 9.2 and three different core structures. Each of the three core structures uses a distinct type of winding: toroidal windings for toroids, concentrically wound coils for shape cores, and planar coil construction for planar cores.

**Table 1 – Relationship of test turns to magnetic structure, test frequency and inductance factor  $A_L$**

	Turns	Frequency kHz	$A_L$ nH/N <sup>2</sup>
Toroid	1	10	> 10 000
		100	> 1 000
	10	10	> 100
		100	> 10
	100	10	NA
		100	NA
Cores using bobbin	1	10	NA
	10	10	NA
	100	10	> 10
Cores using planar winding	1	10	NA
		100	NA
	10	10	> 100
		100	> 10
	100	10	NA
		100	NA

### 9.3.2 Recommendations for toroids

Gapped toroids are particularly sensitive to the location of the conductors. For the specific case of gapped toroids, the position of turn(s) relative to the gap(s) shall be specified. Non-gapped toroids are less sensitive to the location of the conductors.

For measurement on toroids that require 10 turns, the turns of the measuring coil shall be evenly distributed over the circumference of the core.

For ungapped toroids for which the initial permeability is less than 100, a cavity device shall be used for measurement or correlation.

### 9.3.3 Recommendations for cores using bobbin

It is recommended that, as a standard coil, a bobbin that is fully wound (above 85 % of winding area) with magnet wire, using conventional layered winding, in agreement with the number of turns of Table 1, and meeting the condition of item c) of 9.2 be used. However, the larger the core, the more difficult it is to achieve a fully wound bobbin, due to thin conductors.

When a special test coil is used, which differs significantly in design from the standard coil, then correlation is necessary.

Pour les noyaux à entrefer, la valeur d'inductance mesurée est sensible à la quantité de remplissage de la fenêtre: une bobine moins enroulée donne une valeur d'inductance plus petite qu'une bobine complètement enroulée. Plus le degré de remplissage est petit, plus grand est l'écart. Plus l'entrefer est important, plus important est l'écart.

Pour les noyaux à entrefer symétrique, la position de la bobine doit être fixée de sorte qu'elle réalise un contact avec une des deux moitiés de noyau. Pour les noyaux à entrefer asymétrique, la position de la bobine doit être fixée de sorte qu'elle réalise un contact avec la moitié de noyau à entrefer.

Une des faces de bobine doit porter un marquage prévu pour définir l'orientation de sa polarité. La bobine doit être conservée dans la position définie au cours de la mesure dans son ensemble afin d'obtenir la reproductibilité maximale de la mesure.

### 9.3.4 Recommandations pour les noyaux planaires

Deux exemples sont des noyaux planaires essayés avec des bobines enroulées, et des bobines à enroulement sur chant. Afin d'obtenir la reproductibilité de mesures avec des noyaux destinés à être utilisés avec des enroulements planaires, il est recommandé que les fabricants et utilisateurs suivent les lignes directrices de 9.3.3 dans toute la mesure du possible. Cependant, on rencontre deux difficultés principales: (a) les effets de géométrie du fait de la forme planaire et des petites fenêtres, et (b) les effets de corrélation du fait des enroulements types réellement utilisés dans les applications planaires.

#### a) Effets de géométrie

Pour de nombreux noyaux planaires, il n'est pas pratique d'atteindre 100 spires (comme recommandé dans le Tableau 1 pour 9.3.3). Pour cette raison, le Tableau 1 expose les conditions recommandées pour l'utilisation de 10 spires avec des noyaux planaires. Cependant, les effets de remplissage du support de bobinage et de fuite sont susceptibles d'être significatifs lorsque le nombre de spires est une valeur faible, 10. Les influences de remplissage de fenêtre et de la construction exacte de la bobine seront plus grandes que dans les autres cas. Pour maximiser la reproductibilité de mesure de lot à lot, et du vendeur à l'utilisateur, une bobine enroulée avec un nombre pratique maximal de spires (jusqu'à 100), à enroulement complet (environ 85 % de la zone d'enroulement) est recommandée.

#### b) Effets de corrélation

Les applications pour les noyaux planaires ne concernent généralement pas des bobines enroulées à spires élevées. En fait, les applications planaires emploient communément des bobines à enroulement sur chant à faibles spires (par exemple 3 à 10 spires) pour les traces de circuits imprimés. Les effets de géométrie du fait de faibles spires et de l'orientation planaire des conducteurs peuvent être significatifs, avec comme résultat que les valeurs  $A_L$  mesurées peuvent varier considérablement de bobine à bobine, y compris d'un enroulement planaire à faibles spires à une bobine d'essai enroulée à spires plus élevées. Une analyse attentive de la corrélation entre les bobines d'essai et les bobines d'application est nécessaire. Dans certains cas, le fabricant peut convenir d'utiliser la bobine d'application comme la bobine d'essai en production, cependant les utilisateurs sont mis en garde sur le fait que la reproductibilité de lot à lot peut être inférieure si une bobine d'essai enroulée à spires supérieures est utilisée lors de la fabrication des noyaux.

## 9.4 Considérations pour l'alignement de noyaux pendant l'essai

Pour les noyaux qui s'assemblent autour d'une bobine d'essai, les noyaux sont situés autour de la bobine d'essai et maintenus en place avec un dispositif de fixation non magnétique. Si l'ajustage des surfaces de contact de noyau est utilisé pour améliorer la reproductibilité de la mesure d'inductance donnant des valeurs d'inductance supérieures, le fabricant doit indiquer les détails de la procédure d'ajustage à l'utilisateur.

For gapped cores, the measured inductance value is sensitive to how much of the window is filled: a slightly wound coil yields a smaller inductance value than a fully wound coil. The smaller the degree of filling, the greater the deviation. The larger the gap, the greater the deviation.

For symmetrically gapped cores, the coil position shall be fixed so that it makes contact with one of the two core halves. For asymmetrically gapped cores, the coil position shall be fixed so that it makes contact with the gapped core half.

One of the coil faces shall be marked in such a way as to define its polarity orientation. The coil shall be kept in the defined position during the whole measurement in order to obtain the maximum reproducibility of the measurement.

### 9.3.4 Recommendations for planar cores

Two examples are planar cores tested with wire-wound coils and edge-wound coils. In order to achieve reproducibility of measurements with cores intended to be used with planar windings, it is recommended that manufacturers and users follow the guidelines in 9.3.3 to the extent possible. However, two main difficulties are encountered: (a) geometrical effects due to the planar shape and small windows, and (b) correlation effects due to the typical windings actually used in planar applications.

#### a) Geometrical effects

For many planar cores, it is not practical to reach 100 turns (as recommended in Table 1 for 9.3.3). For this reason, Table 1 lays out recommended conditions for using 10 turns with planar cores. However, leakage and bobbin fill effects are likely to be significant when the number of turns is a low value, 10. The influences of window filling and exact construction of the coil will be greater than otherwise. To maximize the reproducibility of measurement from batch to batch, and from vendor to user, a wire-wound coil with a maximum practical number of turns (up to 100), fully wound (about 85 % of the winding area) is recommended.

#### b) Correlation effects

Applications for planar cores do not typically involve high-turn, wire-wound coils. In fact, planar applications commonly employ low turns (e.g. 3 turns to 10 turns) edge-wound coil for printed-circuit traces. The geometrical effects due to the low turns and planar orientation of the conductors can be significant, with the result that measured  $A_L$  values may vary a great deal from coil to coil, including from a low-turns planar winding to a higher turn wire-wound test coil. Careful analysis of the correlation between test coils and application coils is necessary. In some cases, it may be agreed that the manufacturer use the application coil as the production test coil; however, users are cautioned that reproducibility from batch to batch may be less than if a higher turn wire-wound test coil is used in manufacturing the cores.

### 9.4 Considerations for core alignment during test

For cores that assemble about a test coil, the cores are located about the test coil and maintained in place with a non-magnetic clamping fixture. If wringing of the core mating surfaces is used to improve the reproducibility of the inductance measurement yielding higher inductance values, the manufacturer shall indicate the details of the wringing procedure to the user.

Pour les noyaux constitués de plus d'une partie et qui sont assemblés autour de la bobine de mesure, un dispositif de fixation doit être utilisé tout au long de la mesure. Ce dispositif de fixation doit être conforme à la CEI 62044-1 et doit répartir la force de fixation uniformément sur la surface de contact sans introduire la contrainte de pliage dans le noyau. La force doit être appliquée dans un sens perpendiculaire à la surface de contact. Il est recommandé de maintenir la force de fixation dans la plage  $0,6 \text{ N/mm}^2$  à  $1,0 \text{ N/mm}^2$  pour les noyaux pour lesquels la section transversale efficace ( $A_e$ ) est inférieure à  $50 \text{ mm}^2$  et de maintenir la force à  $50 \text{ N}$ , avec une tolérance relative de  $\pm 10 \%$ , pour les noyaux avec une section transversale efficace ( $A_e$ ) supérieure à  $50 \text{ mm}^2$ .

## **9.5 Mesure d'inductance sous l'influence du champ magnétique à courant continu**

### **9.5.1 Généralités**

Ce paragraphe fournit une méthode de mesure de l'inductance d'un noyau dont l'excitation à courant alternatif conformément à 9.2 est superposée à une excitation à courant continu.

### **9.5.2 Principe de la mesure**

L'inductance d'une bobine d'essai autour du noyau magnétique est mesurée aux valeurs définies du courant continu circulant dans la bobine d'essai. Les mesures d'inductance sont effectuées de manière séquentielle avec l'augmentation du courant. Les mesures d'inductance à n'importe quelle valeur de courant ne doivent pas être répétées jusqu'à ce que le noyau soit soumis au préconditionnement comme défini dans la CEI 62044-1, ou que le noyau ait été cyclé à travers la plage entière de polarisation à courant continu avant la répétition de la mesure.

### **9.5.3 Eprouvettes**

Un ensemble vierge de noyaux est le plus adapté pour ces mesures. Les noyaux qui ont été précédemment soumis à l'excitation à courant alternatif ou à courant continu doivent être préconditionnés selon l'Article 6 de la CEI 62044-1 avant les essais. Les noyaux prélevés dans la production courante ou les noyaux spécialement prévus pour les mesures de matériaux doivent être utilisés pour la mesure.

NOTE Il n'existe pas de relation simple entre les résultats des mesures effectués sur des noyaux de même taille avec entrefers différents.

### **9.5.4 Bobine de mesure**

Toutes les bobines de mesure doivent être adaptées pour la mesure d'inductance conformément à 9.3, à la condition supplémentaire que la taille du conducteur soit choisie de telle sorte que, avec la quantité spécifiée maximale du courant continu, il y ait une modification négligeable d'inductance en raison de la variation de température du noyau en essai.

Dans le cas de bobines à deux enroulements, elles doivent avoir le couplage maximal que l'on puisse obtenir; elles doivent, de préférence, être enroulées en parallèle, avec le fil de même diamètre.

NOTE Pour la mesure sur des noyaux à entrefer, il est recommandé que les noyaux emploient autant de spires que possible qui soient compatibles avec l'espace disponible et la capacité de courant.

For cores consisting of more than one part and which are assembled around the measuring coil, a clamping device shall be used throughout the measurement. This clamping device shall be in accordance with IEC 62044-1 and shall distribute the clamping force uniformly over the contact surface without introducing bending stress in the core. The force shall be applied in a direction perpendicular to the mating surface. It is recommended that the clamping force be maintained in the range 0,6 N/mm<sup>2</sup> through 1,0 N/mm<sup>2</sup> for cores for which the effective cross-sectional area ( $A_e$ ) is less than 50 mm<sup>2</sup> and that the force be maintained at 50 N, with a relative tolerance of  $\pm 10\%$ , for cores with an effective cross-sectional area ( $A_e$ ) greater than 50 mm<sup>2</sup>.

## **9.5 Measurement of inductance under the influence of d.c. magnetic field**

### **9.5.1 General**

This subclause provides a method for measurement of the inductance of a core that has an a.c. excitation in accordance with 9.2 superimposed on a d.c. excitation.

### **9.5.2 Principle of the measurement**

The inductance of a test coil about the magnetic core is measured at defined values of d.c. current flowing in the test coil. The inductance measurements are made sequentially with increasing current. Inductance measurements at any value of current are not to be repeated until either the core is subjected to preconditioning, as defined in IEC 62044-1, or the core has been cycled through the entire d.c. bias range before repeating the measurement.

### **9.5.3 Specimens**

A virgin set of cores is most suitable for these measurements. Cores that have been previously subject to a.c. or d.c. excitation shall be preconditioned according to Clause 6 of IEC 62044-1 before testing. Cores taken from current production, or cores especially provided for the purpose of material measurements, shall be used for the measurement.

NOTE There is no simple relation between the results of measurements made on cores of the same size with different air-gaps.

### **9.5.4 Measuring coil**

All measuring coils shall be suitable for measurement of inductance in accordance with 9.3, with the additional condition that the size of the conductor shall be chosen in such a way that with a maximum specified amount of d.c. current, there is negligible change of inductance due to change of the temperature of the core under test.

In the case of coils with two windings, these shall have the maximum coupling obtainable; preferably they shall be wound in parallel, with wire of the same diameter.

NOTE For measurement on gapped cores, it is recommended that the coils should employ as many turns as are consistent with available space and current capacity.

### 9.5.5 Procédure de mesure

- a) Le noyau est assemblé avec la bobine de mesure conformément à 9.3 et 9.4.
- b) Le noyau doit être soumis au conditionnement magnétique conformément à l'Article 6 de la CEI 62044-1.
- c) Après conditionnement et après 15 min pour permettre la stabilisation de température de noyau, l'inductance doit être mesurée conformément à un signal à courant alternatif selon 9.2. Pendant la mesure, la valeur de crête de l'induction alternative dans n'importe quelle partie du noyau ne doit pas dépasser 1,0 mT. La fréquence du courant de mesure doit être indiquée.
- d) Le courant continu est alors réglé de manière séquentielle aux valeurs spécifiées, en commençant par la plus faible, jusqu'à la valeur spécifiée maximale. La durée à chaque réglage de courant ne doit pas provoquer une variation de température de plus de 1 °C de la combinaison bobine/noyau.
- e) Les mesures d'inductance prises au cours du premier passage à travers la plage de courant continu s'appliquent uniquement à un noyau vierge ou à un noyau préconditionné. Davantage de mesures reproductibles sont obtenues pour des noyaux qui ont une perméabilité efficace supérieure à 1 000 si le noyau est pris en passant par les étapes b), c) et d) au moins une fois avant l'enregistrement de mesure.

NOTE Il convient que le noyau soit cyclé à la température de mesure avant que des mesures soient effectuées à cette température.

### 9.6 Paramètres liés à la géométrie du noyau

NOTE Toutes les formules dans cette partie de la CEI 62044 utilisent des unités SI de base. La pratique industrielle générale pour les feuilles de données et les documents d'essai consiste à exprimer  $A_L$ ,  $A_e$ , et  $l_e$  par des sous-multiples des unités SI, selon les ordres de grandeur des valeurs typiquement observées pour ces paramètres.  $A_L$  est communément exprimée en nH/N<sup>2</sup>, et dans de nombreux cas nH/N<sup>2</sup> est plutôt sous-entendue qu'explicitement indiquée.  $A_e$  est communément donnée en mm<sup>2</sup>;  $l_e$  est communément donnée en mm. Cette pratique est suivie dans les tableaux 1 et 2, et elle est suivie dans d'autres normes de la CEI, qui fournissent des paramètres pour des noyaux spécifiques.

#### a) Facteur d'inductance ( $A_L$ ):

Le facteur d'inductance pour un noyau est lié à ses dimensions physiques et à la perméabilité du matériau magnétique par l'équation

$$A_L = \frac{\mu_0 \times \mu_e \times A_e}{l_e} = \frac{L_{\text{measured}}}{N^2} \quad (\text{H/N}^2) \quad (7)$$

où

$\mu_0$  est la constante magnétique:  $0,4 \pi \times 10^{-6}$  H/m;

$\mu_e$  est la perméabilité effective;

$A_e$  est la section transversale efficace (en m<sup>2</sup>, 1 m<sup>2</sup> = 10<sup>6</sup> mm<sup>2</sup>);

$l_e$  est la longueur de trajet magnétique efficace (m);

$L_{\text{measured}}$  est exprimé en H.

### 9.5.5 Measuring procedure

- a) The core is assembled with the measuring coil in accordance with 9.3 and 9.4.
- b) The core shall be subjected to magnetic conditioning in accordance with Clause 6 of IEC 62044-1.
- c) After conditioning and after 15 min to allow for core temperature stabilization, the inductance shall be measured in accordance with an a.c. signal in accordance with 9.2. During measurement, the peak value of the alternating flux density in any core part shall not exceed 1,0 mT. The frequency of the measuring current shall be stated.
- d) The direct current is then sequentially adjusted to the specified values, starting with the lowest one, up to the maximum specified value. The time at each current adjustment shall not cause the temperature of the coil/core combination to change by more than 1 °C.
- e) The inductance measurements taken during the first pass through the d.c. current range apply only to a virgin core or to a preconditioned core. More repeatable measurements are obtained for cores that have an effective permeability greater than 1 000 if the core is taken through steps b), c) and d) at least one time before recording measurements.

NOTE The core should be cycled at the measurement temperature before measurements are taken at that temperature.

### 9.6 Parameters related to core geometry

NOTE All the formulae in this part of IEC 62044 use basic SI units. The general industry practice for datasheets and test documents is to express  $A_L$ ,  $A_e$ , and  $l_e$  in those submultiples of the SI units that agree with the magnitude of the values typically seen for those parameters.  $A_L$  is commonly given in nH/N<sup>2</sup>, and in many cases with nH/N<sup>2</sup> being assumed rather than explicitly indicated.  $A_e$  is commonly given in mm<sup>2</sup>;  $l_e$  is commonly given in mm. This practice is followed in Tables 1 and 2, and it is followed in other IEC standards where parameters for specific cores are listed.

#### a) Inductance factor ( $A_L$ ):

The inductance factor for a core is related to its physical dimensions and the permeability of the magnetic material by equation

$$A_L = \frac{\mu_0 \times \mu_e \times A_e}{l_e} = \frac{L_{\text{measured}}}{N^2} \quad (\text{H/N}^2) \quad (7)$$

where

- $\mu_0$  is the magnetic constant:  $0,4 \pi \times 10^{-6}$  H/m;
- $\mu_e$  is the effective permeability;
- $A_e$  is the effective cross-sectional area (in m<sup>2</sup>, 1 m<sup>2</sup> = 10<sup>6</sup> mm<sup>2</sup>);
- $l_e$  is the effective magnetic path length (m);
- $L_{\text{measured}}$  is expressed in H.

b) Perméabilité effective ( $\mu_e$ ):

Afin d'appliquer l'équation ci-dessus pour  $A_L$  aux noyaux avec un entrefer intrinsèque ou un entrefer introduit, la perméabilité effective doit tenir compte des dimensions des diverses parties du trajet magnétique.

$$\mu_e = \frac{l_e/A_e}{l_g/A_g + (l_e - l_g)/(\mu_i \times A_e)} \quad (8)$$

où

$l_e$  est la longueur de trajet magnétique efficace (m);

$A_e$  est la section transversale efficace (en  $m^2$ ,  $1 m^2 = 10^6 mm^2$ );

$l_g$  est la longueur d'entrefer efficace (m);

$\mu_i$  est la perméabilité initiale;

$A_g$  est la zone d'entrefer efficace ( $m^2$ ).

Si l'on prend pour hypothèse que  $A_g = A_e$  et  $l_g \ll l_e$ , alors il en résulte une équation plus simple pour la perméabilité effective.

$$\frac{1}{\mu_e} = \frac{l_g}{l_e} + \frac{1}{\mu_i} \quad (9)$$

Cette équation pour la perméabilité effective ne prend pas en compte les effets du flux de dispersion. En raison du flux de dispersion, la perméabilité effective semblera être une valeur plus grande que celle indiquée par cette équation. L'effet de  $\mu_e$  mesuré plus grand devient plus grand tandis que la longueur d'entrefer  $l_g$  augmente. La valeur de  $\mu_e$  augmenté en raison du flux de dispersion est affectée par le nombre de spires, la conception de bobine et la forme du noyau.

### 9.7 Paramètres des matériaux magnétiques

a) Perméabilité initiale ( $\mu_i$ ):

$$\mu_i = \frac{l_e}{\mu_0 \times A_e \times N^2} \times L_{\text{measured}} \quad (10)$$

où

$L_{\text{measured}}$  est l'inductance mesurée d'un noyau à un niveau excessivement faible d'une induction à courant alternatif comme défini en 9.2. Le noyau doit être un tore ou bien n'avoir aucun entrefer dans le trajet du flux, sinon  $L_{\text{measured}}$  fait référence à  $\mu_e$  (perméabilité effective) de la structure, et non pas au  $\mu_i$  intrinsèque du matériau en ferrite;

$l_e$  est la longueur de trajet magnétique efficace (m);

$\mu_0$  est la constante magnétique:  $0,4 \pi \times 10^{-6}$  H/m;

$A_e$  est la section transversale efficace ( $m^2$ );

$N$  est le nombre de spires de bobines d'essai;

$L_{\text{measured}}$  est exprimé en H.

b) Effective permeability ( $\mu_e$ ):

In order to apply the equation above for  $A_L$  to cores with an intrinsic or introduced air-gap, the effective permeability shall account for the dimensions of the various parts of the magnetic path.

$$\mu_e = \frac{l_e/A_e}{l_g/A_g + (l_e - l_g)/(\mu_i \times A_e)} \quad (8)$$

where

$l_e$  is the effective magnetic path length (m);

$A_e$  is the effective cross-sectional area (in  $m^2$ ,  $1 m^2 = 10^6 mm^2$ );

$l_g$  is the effective air-gap length (m);

$\mu_i$  is the initial permeability;

$A_g$  is the effective air-gap area ( $m^2$ ).

If it is assumed that  $A_g = A_e$  and  $l_g \ll l_e$ , then a simpler equation for effective permeability results.

$$\frac{1}{\mu_e} = \frac{l_g}{l_e} + \frac{1}{\mu_i} \quad (9)$$

This equation for effective permeability does not take into account the effects of fringing flux. Due to fringing flux, the effective permeability will appear to be a greater value than indicated by this equation. The effect of greater measured  $\mu_e$  becomes greater as the gap length  $l_g$  increases. The value of increased  $\mu_e$  due to fringing flux is affected by the number of turns, coil design and shape of the core.

## 9.7 Magnetic material parameters

a) Initial permeability ( $\mu_i$ ):

$$\mu_i = \frac{l_e}{\mu_0 \times A_e \times N^2} \times L_{\text{measured}} \quad (10)$$

where

$L_{\text{measured}}$  is the inductance of a core at a vanishingly low level of a.c. flux density as defined in 9.2. The core shall be a toroid or otherwise have no air-gap in the flux path, otherwise  $L_{\text{measured}}$  relates to  $\mu_e$  (effective permeability) of the structure, not the inherent  $\mu_i$  of the ferrite material;

$l_e$  is the effective magnetic path length (m);

$\mu_0$  is the magnetic constant:  $0,4 \pi \times 10^{-6}$  H/m;

$A_e$  is the effective cross-sectional area ( $m^2$ );

$N$  is the number of test coil turns;

$L_{\text{measured}}$  is expressed in H.

b) Perméabilité relative complexe ( $\mu_r$ ):

$$\mu_r = \frac{l_e}{\mu_0 \times A_e \times N^2} \times \frac{Z_{\text{measured}}}{2\pi \times f} \quad (11)$$

où

$Z_{\text{measured}}$  est l'impédance mesurée d'un noyau toroïdal à faible induction comme défini en 9.2. L'impédance est mesurée à une fréquence de signal spécifiée. Lorsque l'inductance est mesurée en mode série, ce que l'on suppose être le cas, sauf indication contraire, un indice «s» peut suivre l'indice «r» dans un souci de clarté. Lorsque l'impédance est mesurée en mode parallèle un indice «p» suit l'indice «r».

$l_e$  est la longueur de trajet magnétique efficace (m);

$\mu_0$  est la constante magnétique:  $0,4 \pi \times 10^{-6}$  H/m;

$\mu_{r,s}$  est la perméabilité relative complexe (mode inductance série);

$\mu_{r,p}$  est la perméabilité relative complexe (mode inductance parallèle);

$A_e$  est la section transversale efficace (m<sup>2</sup>);

$f$  est la fréquence de signal d'essai (Hz);

$N$  est le nombre de spires de bobines d'essai;

$Z_{\text{measured}}$  est mesuré en  $\Omega$ .

c) Partie réelle de la perméabilité relative complexe ( $\mu'_r$ ):

$$\mu'_r = \frac{l_e}{\mu_0 \times A_e \times N^2} \times L_{\text{measured}} \quad (12)$$

où

$L_{\text{measured}}$  est l'inductance mesurée ( $L_S$  ou  $L_P$ ) d'un noyau toroïdal à faible induction comme défini en 9.2. L'inductance est mesurée à une fréquence de signal spécifiée. Lorsque l'inductance est mesurée en mode série, ce que l'on suppose être le cas, sauf indication contraire, un indice «s» peut suivre l'indice «r» dans un souci de clarté. Lorsque l'inductance est mesurée en mode parallèle un indice «p» suit l'indice «r».

$l_e$  est la longueur de trajet magnétique efficace (m);

$\mu_0$  est la constante magnétique:  $0,4 \pi \times 10^{-6}$  H/m;

$\mu'_{r,s}$  est la partie réelle de la perméabilité relative complexe (mode inductance série);

$\mu'_{r,p}$  est la partie réelle de la perméabilité relative complexe (mode inductance parallèle);

$A_e$  est la section transversale efficace (m<sup>2</sup>);

$N$  est le nombre de spires de bobines d'essai;

$L_{\text{measured}}$  est exprimé en H.

b) Complex relative permeability ( $\mu_r$ ):

$$\mu_r = \frac{l_e}{\mu_0 \times A_e \times N^2} \times \frac{Z_{\text{measured}}}{2\pi \times f} \quad (11)$$

where

$Z_{\text{measured}}$  is the impedance of a toroid core at low flux density as defined in 9.2. The impedance is measured at a specified signal frequency. When inductance is measured in series mode, which is assumed to be the case unless otherwise stated, a subscript “s” may follow the subscript “r” for clarity. When impedance is measured in the parallel mode a subscript “p” follows the subscript “r”;

$l_e$  is the effective magnetic path length (m);

$\mu_0$  is the magnetic constant:  $0,4 \pi \times 10^{-6}$  H/m;

$\mu_{r,s}$  is the complex relative permeability (series inductance mode);

$\mu_{r,p}$  is the complex relative permeability (parallel inductance mode);

$A_e$  is the effective cross-sectional area (m<sup>2</sup>);

$f$  is the frequency of the test signal (Hz);

$N$  is the number of test coil turns;

$Z_{\text{measured}}$  is expressed in  $\Omega$ .

c) Real part of complex relative permeability ( $\mu'_r$ ):

$$\mu'_r = \frac{l_e}{\mu_0 \times A_e \times N^2} \times L_{\text{measured}} \quad (12)$$

where

$L_{\text{measured}}$  is the inductance ( $L_S$  or  $L_P$ ) of a toroid core at low flux density as defined in 9.2. The inductance is measured at a specified signal frequency. When inductance is measured in series mode, which is assumed to be the case unless otherwise stated, a subscript “s” may follow the subscript “r”, for clarity. When inductance is measured in the parallel mode a subscript “p” follows the subscript “r”;

$l_e$  is the effective magnetic path length (m);

$\mu_0$  is the magnetic constant:  $0,4 \pi \times 10^{-6}$  H/m;

$\mu'_{r,s}$  is the real part of complex relative permeability (series inductance mode);

$\mu'_{r,p}$  is the real part of complex relative permeability (parallel inductance mode);

$A_e$  is the effective cross-sectional area (m<sup>2</sup>);

$N$  is the number of test coil turns;

$L_{\text{measured}}$  is expressed in H.

d) Partie imaginaire de la perméabilité relative complexe ( $\mu''_r$ ):

$$\mu''_r = \frac{l_e}{\mu_0 \times A_e \times N^2} \times \frac{R_{\text{measured}}}{2\pi \times f} \quad (13)$$

où

$R_{\text{measured}}$  est la partie imaginaire de l'impédance mesurée ( $R_s$  ou  $R_p$ ) d'un noyau toroïdal à faible induction comme défini en 9.2. Lorsque la résistance est mesurée en mode série, ce que l'on suppose être le cas, sauf indication contraire, un indice «s» suit l'indice «r», dans un souci de clarté. Lorsque la résistance est mesurée en mode parallèle un indice «p» suit l'indice «r»;

$l_e$  est la longueur de trajet magnétique efficace (m);

$\mu_0$  est la constante magnétique:  $0,4 \pi \times 10^{-6}$  H/m;

$\mu''_{r,s}$  est la partie imaginaire de la perméabilité relative complexe de noyau (mode inductance série);

$\mu''_{r,p}$  est la partie imaginaire de la perméabilité relative complexe de noyau (mode inductance série);

$A_e$  est la section transversale efficace (m<sup>2</sup>);

$f$  est la fréquence du signal d'essai (Hz);

$N$  est le nombre de spires;

$R_{\text{measured}}$  est mesuré en  $\Omega$ .

## 10 Désaccommodation

La méthode de mesure de désaccommodation qui est définie comme la modification de la perméabilité d'un noyau avec le temps, est décrite dans l'Annexe A.

## 11 Coefficient de température de perméabilité

### 11.1 Eprouvettes

Les noyaux prélevés dans la production normale doivent être utilisés pour la mesure.

Lorsque le noyau complet est constitué de plus d'une partie, la variation de température doit être mesurée avec l'enroulement normal. Dans le cas de noyaux avec trou central, les parties de noyau peuvent être enroulées comme un tore. La variation de température peut être mesurée de cette façon après que l'on a établi que les résultats sont raisonnablement égaux aux résultats obtenus avec un enroulement normal ou sont en corrélation avec ces derniers.

d) Imaginary part of complex relative permeability ( $\mu''_r$ ):

$$\mu''_r = \frac{l_e}{\mu_0 \times A_e \times N^2} \times \frac{R_{\text{measured}}}{2\pi \times f} \quad (13)$$

where

$R_{\text{measured}}$  is the imaginary part of measured impedance ( $R_s$  or  $R_p$ ) of a toroid core at low flux density as defined in 9.2. When resistance is measured in series mode, which is assumed to be the case unless otherwise stated, a subscript “s” follows the subscript “r”, for clarity. When resistance is measured in the parallel mode a subscript “p” follows the subscript “r”;

$l_e$  is the effective magnetic path length (m);

$\mu_0$  is the magnetic constant:  $0,4 \pi \times 10^{-6}$  H/m;

$\mu''_{r,s}$  is the imaginary part of the complex relative permeability of core (series inductance mode);

$\mu''_{r,p}$  is the imaginary part of the complex relative permeability of core (parallel inductance mode);

$A_e$  is the effective cross-sectional area (m<sup>2</sup>);

$f$  is the frequency of the test signal (Hz);

$N$  is the number of test coil turns;

$R_{\text{measured}}$  is expressed in  $\Omega$ .

## 10 Disaccommodation

The measuring method of disaccommodation that is defined as the change of the permeability of a core with time, is described in Annex A.

## 11 Temperature coefficient of permeability

### 11.1 Specimens

Cores taken from normal production shall be used for the measurement.

When the complete core consists of more than one part, the temperature variation is to be measured with a normal winding. In the case of cores with a centre hole, the core parts can be wound as a toroid. The temperature variation may be measured in that way after it has been established that the results are reasonably equal to, or correlate with, the results obtained with a normal winding.

## 11.2 Procédure de mesure

Le noyau de mesure (éprouvette) doit être placé dans une enceinte à régulation de température. Alors l'inductance propre  $L_{\text{ref}}$  à température  $T_{\text{ref}}$  (de préférence 25 °C) et l'inductance propre  $L_T$  à une température différente ( $T$ ) sont mesurées et le coefficient de température  $\alpha_\mu$  est calculé par l'équation suivante.

$$\alpha_\mu = \frac{(L_T - L_{\text{ref}})}{L_{\text{ref}} \times (T - T_{\text{ref}})} = \frac{(\mu_T - \mu_{\text{ref}})}{\mu_{\text{ref}} \times (T - T_{\text{ref}})} \quad (14)$$

où

$L_{\text{ref}}$  est l'inductance propre de la bobine de mesure à la température de référence  $T_{\text{ref}}$  (de préférence 25 °C);

$L_T$  est l'inductance propre de la bobine de mesure à la température  $T$ .

La mesure de l'inductance propre doit être réalisée après maintien pendant 2 h (recommandées) à chaque température, et le courant doit être appliqué uniquement au cours de la mesure. Les conditions de mesure doivent être conformes à 7.2, 9.2 et 9.4. La mesure est réalisée lorsque la température passe de basse à élevée.

NOTE 1 Le coefficient de température est communément utilisé pour calculer les limites de variation de perméabilité d'un noyau à l'intérieur d'une plage de températures données. On peut uniquement l'utiliser pour décrire le comportement à l'intérieur de la plage de température lorsque les limites de linéarité de perméabilité par rapport à la caractéristique de température du noyau sont prises en compte.

Il convient de noter que, du fait de la non-linéarité de cette caractéristique et du choix de  $T_{\text{ref}}$ , le coefficient de température peut être différent pour des plages de températures différentes. Lorsque des plages de températures plus petites sont choisies, l'écart par rapport à la ligne droite peut être très significatif.

Il est recommandé d'utiliser des noyaux soit toroïdaux soit formés dont le trou central utilise l'enroulement toroïdal ou des noyaux formés avec un entrefer pour éviter l'effet de variation thermiquement induite de l'entrefer résiduel au cours de la mesure.

NOTE 2 Le facteur de température  $\alpha_F$  est communément utilisé dans les catalogues de fabricants et il est défini comme suit:

$$\alpha_F = \frac{\mu_0 \times N^2 \times (L_T - L_{\text{ref}})}{C_1 \times L_{\text{ref}}^2 \times (T - T_{\text{ref}})} = \frac{(\mu_T - \mu_{\text{ref}})}{\mu_{\text{ref}}^2 \times (T - T_{\text{ref}})} = \frac{\alpha_{\mu_i}}{\mu_{i\text{ref}}} = \frac{\alpha_{\mu_e}}{\mu_{e\text{ref}}} \quad (15)$$

Il en va de même avec la formule approximative lorsque la variation totale de perméabilité du noyau avec l'entrefer sur la plage de températures est suffisamment petite. On peut également l'écrire de la façon suivante:

$$\alpha_F = \frac{\alpha_\mu \times \mu_0}{C_1 \times A_L} \quad (16)$$

où

$C_1$  est la constante de noyau définie dans la CEI 60205;

$A_L$  est le facteur d'inductance du noyau;

$\mu_0$  est la constante magnétique:  $0,4 \pi \times 10^{-6}$  H/m;

$N$  est le nombre de spires de bobines de mesure;

$\mu_T$  est la perméabilité initiale à température;

$L_T$  est l'inductance propre à température.

NOTE 3 Le coefficient de température d'un inducteur peut être assez différent de celui du noyau, étant donné que diverses influences sur la variabilité sont introduites, par exemple par l'assemblage, par l'enroulement en cuivre.

## 11.2 Measuring procedure

The measuring core (specimen) shall be placed in a temperature-controlled chamber. Then self-inductance  $L_{\text{ref}}$  at temperature  $T_{\text{ref}}$  (preferably 25 °C) and self-inductance  $L_T$  at a different temperature ( $T$ ) are then measured and temperature coefficient  $\alpha_\mu$  is calculated from the following equation.

$$\alpha_\mu = \frac{(L_T - L_{\text{ref}})}{L_{\text{ref}} \times (T - T_{\text{ref}})} = \frac{(\mu_T - \mu_{\text{ref}})}{\mu_{\text{ref}} \times (T - T_{\text{ref}})} \quad (14)$$

where

$L_{\text{ref}}$  is the self-inductance of the measuring coil at reference temperature  $T_{\text{ref}}$  (preferably 25 °C);

$L_T$  is the self-inductance of the measuring coil at temperature  $T$ .

The measuring of self-inductance shall be performed after maintaining for 2 h (recommended) at each temperature, and current shall be applied only during the measurement. Measuring conditions shall be in accordance with 7.2, 9.2 and 9.4. Measurement is performed when the temperature is raised from low to high.

NOTE 1 The temperature coefficient is commonly used to calculate the limits of change of permeability of a core within a given temperature range. It can only be used to describe the behaviour within the temperature range when the limits of linearity of the permeability versus temperature characteristic of the core are taken into account.

It should be noted that, because of the non-linearity of this characteristic and the choice of  $T_{\text{ref}}$ , the temperature coefficient may be different for different temperature ranges. When smaller temperature ranges are chosen, the deviation from the straight line may be very significant.

It is recommended that either toroid, or shaped cores with the centre-hole using toroidal winding, or shaped cores with an air-gap be used to avoid the effect of thermally induced variation of the residual gap during the measurement.

NOTE 2 The temperature factor  $\alpha_F$  is commonly used in manufacturers' catalogues and is defined as:

$$\alpha_F = \frac{\mu_0 \times N^2 \times (L_T - L_{\text{ref}})}{C_1 \times L_{\text{ref}}^2 \times (T - T_{\text{ref}})} = \frac{(\mu_T - \mu_{\text{ref}})}{\mu_{\text{ref}}^2 \times (T - T_{\text{ref}})} = \frac{\alpha_{\mu_i}}{\mu_{i\text{ref}}} = \frac{\alpha_{\mu_e}}{\mu_{e\text{ref}}} \quad (15)$$

The approximate formula holds true when the total variation of permeability of the core with air-gap over the temperature range is sufficiently small. It can also be written:

$$\alpha_F = \frac{\alpha_\mu \times \mu_0}{C_1 \times A_L} \quad (16)$$

where

$C_1$  is the core constant defined in IEC 60205;

$A_L$  is the inductance factor of the core;

$\mu_0$  is the magnetic constant:  $0,4 \pi \times 10^{-6}$  H/m;

$N$  is the number of turns of measuring coil;

$\mu_T$  is the initial permeability at temperature;

$L_T$  is the self-inductance at temperature.

NOTE 3 The temperature coefficient of an inductor may be quite different from that of the core, since various influences on the variability are introduced, for example, by clamping, by the copper winding.

## 12 Pertes à faible induction

### 12.1 Objet

Fournir des instructions générales pour la mesure de pertes, tant dans les noyaux à entrefer que sans entrefer.

### 12.2 Bobine de mesure

Des détails complets de la construction de la bobine doivent être donnés dans la spécification correspondante. La construction doit reposer sur les considérations suivantes.

- a) Des bobines pour les noyaux constitués de plus d'une partie doivent, si possible, être conçues de sorte que la fréquence à laquelle  $Q$  est maximum pour la combinaison noyau-bobine est bien au-dessus de la fréquence de mesure, de sorte que la perte de bobine puisse être négligée. Lorsque ce qui est indiqué ci-dessus n'est pas possible, il convient d'essayer de conserver la perte d'enroulement additionnelle et la perte diélectrique dans l'isolation de bobine aussi bas que possible en utilisant un fil multibrin, un nombre faible de spires et/ou de bobines subdivisées, de sorte que les résultats de mesure nécessitent uniquement d'être corrigés pour la perte de résistance à courant continu de la bobine.

Si la correction pour la perte de bobine donne lieu à une imprécision inacceptable, des bobines normalisées doivent être utilisées et la perte combinée de noyau et de bobine doit être spécifiée (voir point b) de 7.1). Pour la mesure sur les noyaux à  $Q$  élevée, tels que les noyaux à entrefer, il convient que les bobines normalisées soient échangées entre les parties effectuant des mesures identiquement sur les mêmes noyaux.

- b) Les bobines enroulées sur des tores doivent être réparties de manière régulière. Il est préférable que le fil de cuivre solide isolé soit utilisé et qu'il couvre complètement le tore.

### 12.3 Mesure de la perte par courant de Foucault et courant différentiel

Tout appareil de mesure adapté tel que le pont LCR peut être utilisé, à condition que la précision soit compatible avec la limite de perte spécifiée. Il doit également permettre à la fréquence et à l'induction dans le noyau d'être réglées à la valeur spécifiée. Si aucune valeur de l'induction n'est spécifiée, sa valeur au cours de la mesure doit être égale ou inférieure à la valeur spécifiée pour la mesure d'inductance sur le même noyau conformément à l'Article 9.

Des corrections pour la perte de noyau peuvent être exigées par l'utilisation de la méthode suivante.

Mesurer la résistance série et l'inductance série de la bobine avec le noyau et soustraire la résistance de la bobine, c'est-à-dire la résistance mesurée à courant continu de la bobine augmentée par l'équivalence de la perte de bobine additionnelle estimée à la fréquence de mesure (voir point a) de 12.2). Finalement, si nécessaire, convertir le résultat en résistance parallèle, facteur de qualité ou autre grandeur dans laquelle la perte de noyau doit être exprimée.

## 12 Losses at low flux density

### 12.1 Object

To provide general instructions for the measurement of loss, both in gapped and ungapped cores.

### 12.2 Measuring coil

Full details of the construction of the coil shall be given in the relevant specification. The construction shall be based on the following considerations.

- a) Coils for cores consisting of more than one part shall, when possible, be designed so that the frequency at which  $Q$  is maximum for the core-coil combination is well above the measuring frequency, so that the coil loss can be neglected. Where the above is not possible, an attempt should be made to keep the additional winding loss and the dielectric loss in the coil insulation as low as possible by using stranded wire, a low number of turns and/or subdivided coils, so that measuring results need only be corrected for the d.c. resistance loss of the coil.

Where correction for coil loss would result in an unacceptable inaccuracy, standard coils shall be used and the combined loss of core and coil shall be specified (see item b) of 7.1). For measurement on high- $Q$  cores, such as gapped cores, the standard coils should be exchanged between parties making measurements on identically the same cores.

- b) Coils wound on toroids shall be evenly distributed. It is preferable that insulated solid copper wire be used and that it completely covers the toroid.

### 12.3 Measurement of residual and eddy current loss

Any suitable measuring apparatus such as an LCR bridge may be used, provided the accuracy is compatible with the specified loss limit. It shall also allow the frequency and the flux density in the core to be adjusted to the specified value. When no value of the flux density is specified, its value during measurement shall be equal to, or lower than, the value specified for the measurement of inductance on the same core according to Clause 9.

Corrections for coil loss may be required by use of the following method:

Measure the series resistance and inductance of the coil with the core and subtract the resistance of the coil, i.e. the measured d.c. resistance of the coil increased by the equivalence of the estimated additional coil loss at the measuring frequency (see item a) of 12.2). Finally, if necessary, convert the result to parallel resistance, quality factor or other quantity in which the core loss has to be expressed.

Lorsque le facteur de perte est mesuré avant la rectification de l'entrefer (voir 7.1, méthode a), la perte dans un noyau avec entrefer peut être calculée par:

$$\tan \delta_e = (\tan \delta / \mu_i) \times \mu_e \quad (17)$$

où

$\tan \delta_e$  est la tangente de l'angle de perte dans le noyau à entrefer avec perméabilité effective  $\mu_e$ ;

$(\tan \delta / \mu_i)$  est le facteur de perte mesuré sur le noyau (ou sur un noyau du même lot ou de la même série) avant la rectification de l'entrefer.

NOTE L'équation ci-dessus est valable à condition que le processus de rectification de l'entrefer ne provoque pas de contraintes mécaniques compromettant sensiblement les pertes totales du noyau.

#### 12.4 Mesure de la perte par hystérésis

Tout appareil de mesure adapté peut être utilisé, tel qu'un pont LCR ce qui permet la variation de la perte de noyau avec l'amplitude d'induction à déterminer avec la précision requise. La valeur de la perte par hystérésis doit être dérivée de la différence des pertes mesurées aux deux valeurs d'induction spécifiées ainsi que de la fréquence de la spécification correspondante:

$$\left( \frac{\tan \delta}{\mu} \right)_h = \Delta \left( \frac{\tan \delta}{\mu} \right) = \left( \frac{\tan \delta}{\mu} \right)_{\hat{B}_2} - \left( \frac{\tan \delta}{\mu} \right)_{\hat{B}_1} \quad (18)$$

où

la fréquence est spécifiée et maintenue constante;

$(\tan \delta / \mu)_h$  est le facteur de perte par hystérésis;

$\hat{B}_2$  est l'induction de mesure appliquée supérieure;

$\hat{B}_1$  est l'induction de mesure appliquée inférieure.

La constante d'hystérésis du matériau (voir la CEI 60401-3), définie comme la pente du facteur de perte sur l'induction, est donnée par:

$$\eta_B = \frac{1}{\hat{B}_2 - \hat{B}_1} \times \left( \frac{\tan \delta}{\mu} \right)_h \approx \frac{(\tan \delta)_{\hat{B}_2} - (\tan \delta)_{\hat{B}_1}}{(\hat{B}_2 - \hat{B}_1) \times \mu_e} \quad (19)$$

où  $\eta_B$  est la constante d'hystérésis du matériau.

L'approximation est valable pour  $(\mu)_{\hat{B}_2} \approx (\mu)_{\hat{B}_1} = \mu_e$ , c'est-à-dire pour les mesures réalisées sur des noyaux avec entrefer.

NOTE La précision de la détermination des angles de pertes diminue avec l'augmentation de l'entrefer (voir 7.1).

When the loss factor is measured before the grinding of the air-gap (see 7.1, method a), the loss in a core with air-gap can be calculated from:

$$\tan \delta_e = (\tan \delta / \mu_i) \times \mu_e \quad (17)$$

where

$\tan \delta_e$  is the tangent of loss angle in the gapped core with effective permeability  $\mu_e$ ;

$(\tan \delta / \mu_i)$  is the loss factor measured on the core (or on a core of the same lot or series) before the grinding of the air-gap.

NOTE The above equation is valid provided the air-gap grinding process does not cause mechanical stresses appreciably affecting the overall losses of the core.

#### 12.4 Measurement of the hysteresis loss

Any suitable measuring apparatus may be used, such as an LCR bridge which allows the variation of the core loss with flux density amplitude to be determined with the required accuracy. The value of the hysteresis loss shall be derived from the difference of the losses measured at the two values of flux density specified together with the frequency in the relevant specification:

$$\left( \frac{\tan \delta}{\mu} \right)_h = \Delta \left( \frac{\tan \delta}{\mu} \right) = \left( \frac{\tan \delta}{\mu} \right)_{\hat{B}_2} - \left( \frac{\tan \delta}{\mu} \right)_{\hat{B}_1} \quad (18)$$

where

frequency is specified and held constant;

$(\tan \delta / \mu)_h$  is the hysteresis loss factor;

$\hat{B}_2$  is the higher applied measuring flux density;

$\hat{B}_1$  is the lower applied measuring flux density.

The hysteresis material constant (see IEC 60401-3), being defined as the slope of the loss factor over flux density, is given by:

$$\eta_B = \frac{1}{\hat{B}_2 - \hat{B}_1} \times \left( \frac{\tan \delta}{\mu} \right)_h \approx \frac{(\tan \delta)_{\hat{B}_2} - (\tan \delta)_{\hat{B}_1}}{(\hat{B}_2 - \hat{B}_1) \mu_e} \quad (19)$$

where  $\eta_B$  is the hysteresis material constant.

The approximation is valid for  $(\mu)_{\hat{B}_2} \approx (\mu)_{\hat{B}_1} = \mu_e$ , i.e. for measurements performed on cores with air-gap.

NOTE The accuracy in the determination of the loss angles decreases with increasing air-gap (see 7.1).

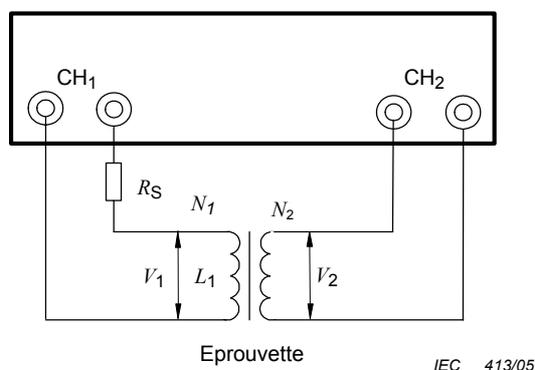
### 13 Distorsion harmonique totale

#### 13.1 Épreuve

Les noyaux prélevés dans la production normale doivent être utilisés. Un support de bobinage à deux enroulements doit être assemblé sur le noyau. Le montage du noyau et la sélection de la bobine de mesure doivent être conformes à la CEI 62044-1. Les enroulements primaires et secondaires doivent être placés en couches dans un support de bobinage à une section.

#### 13.2 Instrument et circuit de mesure

Un analyseur audio adapté illustré à la Figure 2 doit être employé pour mesurer  $THD_F$  (Facteur de Distorsion Harmonique Totale). Il est recommandé d'utiliser un câble torsadé à écran entre l'instrument et l'éprouvette. Il est également recommandé de prévoir un écran autour des composants de circuit.



#### Légende

CH<sub>1</sub> canal 1: entrée

CH<sub>2</sub> canal 2: sortie

$R_S$  résistance de source totale = 50  $\Omega$

$L_1$  inductance primaire

$V_1$  tension d'entrée en termes de  $V_{eff}$

$V_2$  tension de sortie en termes de  $V_{eff}$

$N_1$  nombre de spires à l'enroulement primaire

$N_2$  nombre de spires à l'enroulement secondaire

Le nombre de spires  $N_1 = N_2$  doit être utilisé pour la mesure de  $THD_F$ .

La résistance élevée (>100 k $\Omega$ ) en CH<sub>2</sub> doit être utilisée pour la mesure de  $THD_F$ .

**Figure 2 – Circuit de mesure  $THD_F$**

#### 13.3 Procédure de mesure

##### 13.3.1 Procédure

La fréquence de mesure doit être de 5 kHz et 10 kHz pour une induction de 50 mT, 25 kHz pour une induction de 30 mT. La température ambiante doit être de  $(25 \pm 3)$  °C.

Pour les noyaux constitués de plus d'une partie et qui sont assemblés autour de la bobine de mesure, un dispositif de fixation doit être utilisé tout au long de la mesure. Ce dispositif de fixation doit être conforme à la CEI 62044-1 et doit répartir la force de fixation uniformément sur la surface de contact sans introduire la contrainte de pliage dans le noyau. Il est recommandé de conserver la force de fixation égale à 0,2 N/mm<sup>2</sup>, avec une tolérance relative de  $\pm 10$  %, et d'appliquer la force uniquement dans un sens perpendiculaire à la surface de contact.

NOTE La  $THD$  est sensible à la force appliquée et augmente en fonction de la force.

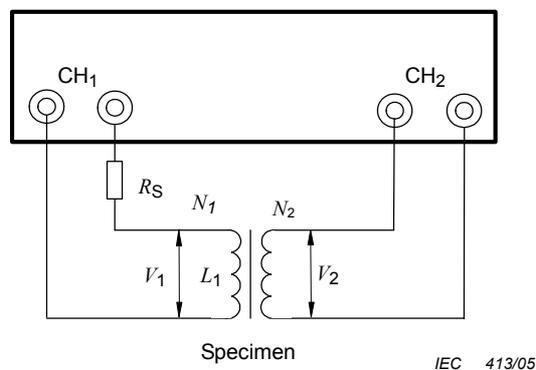
## 13 Total harmonic distortion

### 13.1 Specimen

Cores taken from normal production shall be used. A bobbin with two windings shall be assembled on the core. The mounting of the core and the selection of the measuring coil shall be in accordance with IEC 62044-1. The primary and secondary windings shall be layered in a one-section bobbin.

### 13.2 Measuring instrument and circuit

A suitable audio analyser as shown in Figure 2 shall be employed to measure  $THD_F$ . It is recommended that a shielded twist cable between the instrument and the specimen be used. It is also recommended that the circuit components be shielded.



#### Key

CH<sub>1</sub> channel 1: input

CH<sub>2</sub> channel 2: output

$R_S$  total source resistance = 50  $\Omega$

$L_1$  primary inductance

$V_1$  input voltage in terms of  $V_{r.m.s.}$

$V_2$  output voltage in terms of  $V_{r.m.s.}$

$N_1$  number of turns at primary winding

$N_2$  number of turns at secondary winding

Number of turns  $N_1 = N_2$  shall be used for  $THD_F$  measurement.

High resistance (>100 k $\Omega$ ) in CH<sub>2</sub> shall be used for  $THD_F$  measurement.

**Figure 2 –  $THD_F$  measuring circuit**

### 13.3 Measuring procedure

#### 13.3.1 Procedure

The measuring frequency shall be 5 kHz and 10 kHz for a flux density of 50 mT and 25 kHz for a flux density of 30 mT. Ambient temperature shall be (25  $\pm$  3) °C.

For cores consisting of more than one part and which are assembled around the measuring coil, a clamping device shall be used throughout the measurement. This clamping device shall be in accordance with IEC 62044-1 and shall distribute the clamping force uniformly over the contact surface without introducing bending stress in the core. It is recommended that the clamping force be kept equal to 0,2 N/mm<sup>2</sup>, with a relative tolerance of  $\pm$ 10 %, and that the force be applied only in a direction perpendicular to the mating surface.

NOTE The  $THD$  is sensitive to the applied force and will increase with force.

### 13.3.2 Caractéristiques d'induction magnétique

La *THD* doit être mesurée à une induction magnétique réglée conformément à 13.3.1. L'induction magnétique doit être calculée en utilisant la tension primaire  $V_1$ , et en non pas en utilisant la tension de générateur.

### 13.3.3 Caractéristiques de température

L'éprouvette doit être placée dans l'enceinte à régulation de température et la *THD* doit être mesurée conformément à 13.3.1 à  $-40\text{ °C}$ ,  $-20\text{ °C}$ ,  $0\text{ °C}$ ,  $25\text{ °C}$ ,  $40\text{ °C}$ ,  $70\text{ °C}$  et  $85\text{ °C}$ . L'éprouvette doit être maintenue à chaque température pendant pendant 30 min avant la mesure.

NOTE Un temps de maintien de 2 h est recommandé en 11.2 pour les mesures de coefficients de température. 30 min sont considérées comme appropriées pour les mesures de *THD*, si l'impact de la variabilité de température réduite n'est pas aussi critique qu'avec les mesures de coefficients de température.

### 13.4 Valeur $A_L$ et conditions d'enroulement pour la mesure de $THD_F$

Le nombre de spires  $N_1 = N_2$  avec enroulement bifilaire sur un corps de bobine à une section et la valeur de  $A_L$  dépendant de la taille de noyau doivent être pris dans le Tableau 2 afin d'assurer l'induction indiquée en 13.3.1.

**Tableau 2 – Spécimen de valeur  $A_L$  et conditions d'enroulement pour la mesure de  $THD_F$**

$A_e$ mm <sup>2</sup>	Forme de noyau				$A_L$		Nombre de spires $N_1 = N_2$
	Noyaux EP cores	Noyaux RM	Noyaux en E	Noyaux en pot	Nominale nH/N <sup>2</sup>	Tolérance %	
3 à 14,4	EP7 EP10		E5,3/2 à E13/4	P5,8/3,3 P7,4/4,0 P9/5	63	±5	71
14,4 à 26,7	EP13	RM4, RM5	E13/4, E16/5	P11/7	200	±5	39
26,7 à 55	EP17	RM6, RM7	E20/6, E25/7	P14/8, P18/11	630	±10	22
55 à 90,3	EP20		E32/9	P22/13	1 600	±15	14
90,3 à 100		RM8, RM10			2 000	±15	12

NOTE 1 La tension en circuit ouvert nécessaire pour atteindre l'induction spécifiée doit avoir une valeur efficace d'au moins 10 V.

NOTE 2  $A_e$  est la section transversale efficace.

NOTE 3 En ce qui concerne le nombre de spires, voir l'Annexe B.

### 13.5 Caractéristiques de matériaux – $THD_F$

#### 13.5.1 Éprouvette

Pour l'évaluation concernant les caractéristiques de matériaux de noyaux, le noyau toroïdal doit être utilisé et une taille dans la gamme comprise entre R10 et R30 est recommandée.

#### 13.5.2 Procédure et conditions de mesure

Le circuit de mesure et la procédure doivent être conformes à 13.2 et à 13.3.

NOTE Il convient que le nombre de spires soit réglé de manière à satisfaire aux conditions d'induction (voir l'Annexe B).

### 13.3.2 Magnetic flux density characteristics

The *THD* shall be measured at a set magnetic flux density in accordance with 13.3.1. The magnetic flux density shall be calculated using the primary voltage  $V_1$ , and not by using the generator voltage.

### 13.3.3 Temperature characteristics

The specimen shall be placed in the temperature-controlled chamber and the *THD* shall be measured in accordance with 13.3.1 at  $-40\text{ °C}$ ,  $-20\text{ °C}$ ,  $0\text{ °C}$ ,  $25\text{ °C}$ ,  $40\text{ °C}$ ,  $70\text{ °C}$  and  $85\text{ °C}$ . The specimen shall be kept at each temperature for 30 min before measurement.

NOTE The hold time of 2 h is recommended in 11.2 for temperature coefficient measurements. A period of 30 min is considered adequate for *THD* measurements, where the impact of small temperature variability is not as critical as with temperature coefficient measurements.

### 13.4 $A_L$ value and winding conditions for $THD_F$ measurement

The number of turns  $N_1 = N_2$  with bifilar winding on one section coil former and the  $A_L$  value dependant on the core size shall be taken from Table 2 in order to ensure the flux density stated in 13.3.1.

**Table 2 – Specimen of  $A_L$  value and winding conditions for  $THD_F$  measurement**

$A_e$ mm <sup>2</sup>	Core shape				$A_L$		Number of turns $N_1 = N_2$
	EP cores	RM cores	E cores	Pot cores	Nominal nH/N <sup>2</sup>	Tolerance %	
3 to 14,4	EP7 EP10		E5,3/2 to E13/4	P5,8/3,3 P7,4/4,0 P9/5	63	±5	71
14,4 to 26,7	EP13	RM4, RM5	E13/4, E16/5	P11/7	200	±5	39
26,7 to 55	EP17	RM6, RM7	E20/6, E25/7	P14/8 P18/11	630	±10	22
55 to 90,3	EP20		E32/9	P22/13	1 600	±15	14
90,3 to 100		RM8, RM10			2 000	±15	12
NOTE 1 The open-circuit voltage needed to reach the specified flux density shall have an r.m.s value of at least 10 V.							
NOTE 2 $A_e$ is the effective cross-sectional area.							
NOTE 3 For the number of turns, see Annex B.							

### 13.5 Material characteristics – $THD_F$

#### 13.5.1 Specimen

For the purpose of evaluation of core material characteristics, the toroid core shall be used and a size in the range of R10 to R30 is recommended.

#### 13.5.2 Procedure and measuring condition

The measuring circuit and procedure shall be in accordance with 13.2 and 13.3.

NOTE The number of turns should be adjusted so as to meet the flux density condition (see Annex B).

### 13.5.3 Facteur de distorsion harmonique totale ( $THD_F$ )

Le  $THD_F$  doit être calculé en utilisant l'équation spécifiée dans l'Article 3.  $THD_F$  est une caractéristique de matériau.

## 14 Point de Curie

Le noyau de mesure est placé dans une enceinte à régulation de température et l'inductance propre ( $L$ ) est mesurée tout en élevant la température. Le taux d'élévation doit être inférieur à  $1\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ .

La relation entre l'inductance et la température doit être enregistrée.

Le point de Curie est défini au point de croisement de la ligne  $L_C$  qui est l'inductance de bobine sans noyau et une ligne droite tracée par le point 80 % ( $L_{80}$ ) de l'inductance maximale ( $L_{\max}$ ) et le point 20 % ( $L_{20}$ ). Le symbole du point de Curie est  $T_C$ . Voir la figure 3.

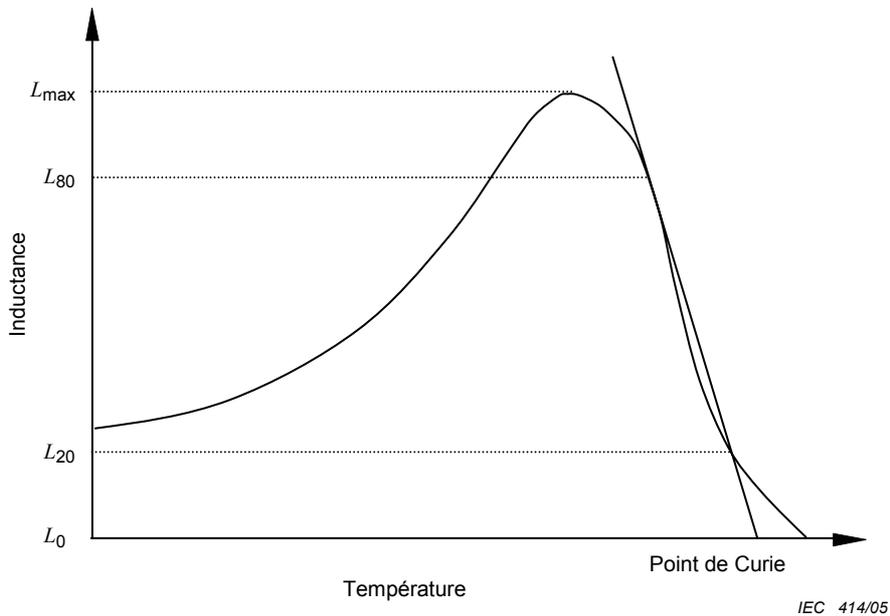


Figure 3 – Point de Curie

## 15 Impédance normalisée, conductivité parallèle et affaiblissement d'insertion

### 15.1 Généralités

L'Article 15 fournit des instructions générales pour la mesure des paramètres de matériaux dépendant de la fréquence en rapport à des applications communes.

### 15.2 Procédure de mesure

Se reporter à l'Article 9.

### 13.5.3 Total harmonic distortion factor ( $THD_F$ )

$THD_F$  shall be calculated by using the equation specified in Clause 3.  $THD_F$  is a material characteristic.

## 14 Curie temperature

The measuring core is placed in a temperature-controlled chamber and the self-inductance ( $L$ ) is measured while raising the temperature. The rate of rise shall be less than 1 °C/min.

The relationship between inductance and temperature shall be recorded.

The Curie temperature is defined at the cross-point of  $L_C$  line that is the inductance of coil without core and a straight line drawn through the 80 % point ( $L_{80}$ ) of the maximum inductance ( $L_{max}$ ) and 20 % point ( $L_{20}$ ). The symbol for the Curie temperature is  $T_C$ . See Figure 3.

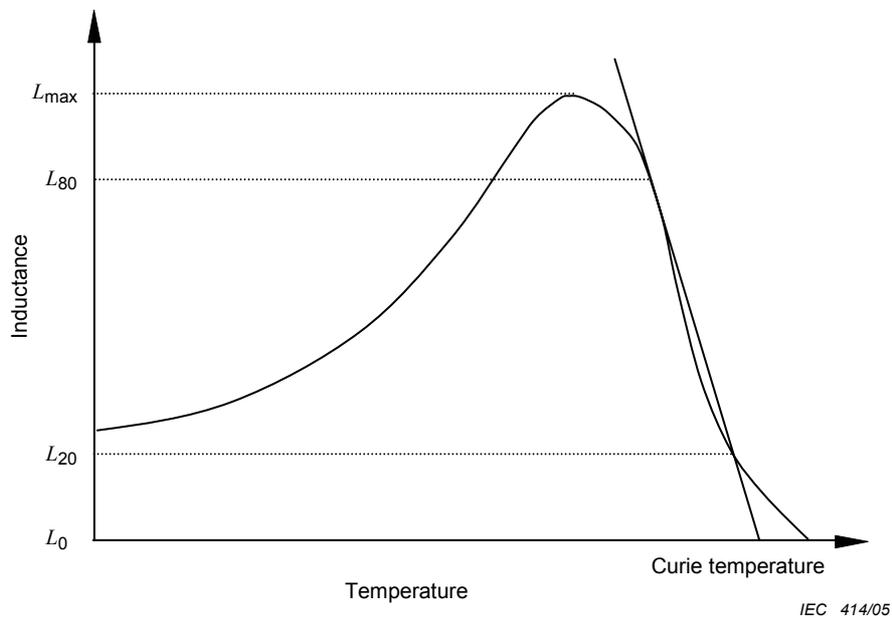


Figure 3 – Curie temperature

## 15 Normalized impedance, parallel conductivity, and insertion loss

### 15.1 General

Clause 15 provides general instructions for the measurement of frequency-dependent material parameters relevant to common applications.

### 15.2 Measuring procedure

Refer to Clause 9.

### 15.3 Impédance normalisée

L'impédance d'un noyau mesuré avec une spire, impédance normalisée, est donnée par:

$$Z_N(f) = 2\pi \times f \times \mu_0 \sqrt{\mu_{r,s}'^2 + \mu_{r,s}''^2} \quad (20)$$

L'impédance du même noyau enroulé avec plus d'une spire peut être prévue par:

$$Z(f) = \frac{A_e}{l_e} \times N^2 \times Z_N(f) \quad (21)$$

où

$l_e$  est la longueur effective de piste magnétique, donnée en m, obtenue des catalogues de fabricants;

$A_e$  est la section transversale efficace, donnée en m<sup>2</sup>, obtenue des catalogues de fabricants.

NOTE La valeur réelle de l'impédance dévie de l'impédance prévue en raison de l'influence de la capacité propre de la bobine de mesure. Une mesure précise de  $Z_N(f)$  avec une spire n'est généralement pas pratique (voir 9.2).  $Z_N(f)$  est généralement une valeur calculée, dérivée de mesures valables utilisant des bobines appropriées.

### 15.4 Conductivité parallèle

La conductivité parallèle est définie par:

$$g_p(f) = \frac{1}{f \times \mu_{r,p}''(f)} \quad (22)$$

La résistance parallèle d'un noyau est donnée par:

$$R_p(f) = 2\pi \times \frac{A_e}{l_e} \times N^2 \times \frac{1}{g_p(f)} \quad (23)$$

où

$l_e$  est la longueur effective de piste magnétique, donnée en m, obtenue des catalogues de fabricants;

$A_e$  est la section transversale efficace, donnée en m<sup>2</sup>, obtenue des catalogues de fabricants.

La contribution du noyau à l'affaiblissement d'insertion est la suivante:

$$a_C(f) = \mu_e \times f_L \times g_p(f) \quad (24)$$

où  $f_L$  est l'extrémité inférieure de la bande de fréquence.

### 15.3 Normalized impedance

The impedance of a core measured with one turn, the normalized impedance, is given by

$$Z_N(f) = 2\pi \times f \times \mu_0 \sqrt{\mu_{r,s}'^2 + \mu_{r,s}''^2} \quad (20)$$

The impedance of the same core wound with more than one turn can be anticipated by

$$Z(f) = \frac{A_e}{l_e} \times N^2 \times Z_N(f) \quad (21)$$

where

$l_e$  is the effective magnetic path length (m), obtained from the manufacturers' data books;

$A_e$  is the effective cross sectional area (m<sup>2</sup>), obtained from the manufacturers' data books.

NOTE The actual value of the impedance will deviate from the anticipated impedance due to the influence of the self-capacitance of the measuring coil. Accurate measurement of  $Z_N(f)$  with one turn is typically impractical (see 9.2).  $Z_N(f)$  is generally a calculated value derived from valid measurements using appropriate coils.

### 15.4 Parallel conductivity

The parallel conductivity is defined by

$$g_p(f) = \frac{1}{f \times \mu_{r,p}''(f)} \quad (22)$$

The parallel resistance of a core is given by

$$R_p(f) = 2\pi \times \frac{A_e}{l_e} \times N^2 \times \frac{1}{g_p(f)} \quad (23)$$

where

$l_e$  is effective magnetic path length (m), obtained from the manufacturers' data books;

$A_e$  is effective cross sectional area (m<sup>2</sup>), obtained from the manufacturers' data books.

The contribution of the core to insertion loss is

$$a_C(f) = \mu_e \times f_L \times g_p(f) \quad (24)$$

where  $f_L$  is the lower end of the frequency band.

## Annexe A (informative)

### Désaccommodation

#### A.1 Généralités

L'Annexe A évalue la modification de la perméabilité d'un noyau avec le temps.

NOTE 1 Les deux composants de la perméabilité complexe présentent une désaccommodation, mais dans la présente norme seul le composant réel est pris en considération.

NOTE 2 On peut utiliser soit la désaccommodation soit le facteur de désaccommodation pour décrire la variation avec le temps.

#### A.2 Principe de la méthode

Le noyau est magnétiquement conditionné; l'inductance ou une autre grandeur correspondant à la perméabilité initiale est mesurée à deux temps spécifiés après conditionnement magnétique. Le facteur de désaccommodation (ou la désaccommodation) est calculé par la différence des valeurs mesurées.

NOTE La désaccommodation diminue normalement avec l'augmentation de l'induction de telle manière qu'elle est généralement donnée pour de faibles valeurs d'induction.

#### A.3 Eprouvettes

Les noyaux prélevés dans la production normale doivent être utilisés pour la mesure.

Lorsque le noyau complet est constitué de plus d'une partie, par exemple, un noyau en pot et la désaccommodation doit être mesurée avec un enroulement normal, il est préférable que seul l'entrefer dans le trajet du flux soit l'entrefer résiduel aux surfaces de contact. Cependant, lorsqu'il existe une série de noyaux chacun avec un entrefer différent découpé dans le trajet de flux il peut être autorisé d'effectuer la mesure sur des noyaux avec l'entrefer le plus petit disponible.

NOTE 1 Dans certains cas, tels que les noyaux formés avec trou central, les parties de noyau peuvent être enroulées comme un tore. La désaccommodation peut être mesurée de cette manière après avoir établi que les résultats sont raisonnablement égaux aux résultats obtenus avec un enroulement normal ou sont en corrélation avec ces derniers et, par ailleurs, que la perméabilité initiale le long du trajet de flux toroïdal n'est pas sensiblement différente de la perméabilité initiale dans le sens du trajet du flux normal.

NOTE 2 Pour certains matériaux, la désaccommodation change sensiblement dans la période consécutive au frittage. Lorsque c'est le cas, la fiche de l'article peut spécifier qu'il convient que la mesure de désaccommodation pour les essais de réception ne soit pas effectuée dans une période indiquée après la fabrication et qu'elle indique également à partir de quel moment cette période doit être mesurée.

#### A.4 Dispositif de chronométrage

L'imprécision de toute mesure de temps ne doit pas être supérieure à 1 %. Dans le cas où le dispositif de chronométrage serait lancé par le dispositif de conditionnement magnétique, ce chiffre doit comprendre l'imprécision tant de la technique de démarrage que du dispositif de chronométrage.

NOTE En principe, pour une méthode électrique, il convient que le temps de référence soit le moment où le champ commence à décroître par rapport à la valeur de saturation. Pour des systèmes de conditionnement automatiques, tels que la méthode de décharge de condensateur et celle d'amplificateur de puissance, l'ensemble du processus de conditionnement magnétique est court au point d'entrer dans le cadre de la tolérance du temps avant la première mesure.

## **Annex A** (informative)

### **Disaccommodation**

#### **A.1 General**

Annex A evaluates the change of the permeability of a core with time.

NOTE 1 Both components of the complex permeability will show disaccommodation but in this standard only the real component is considered.

NOTE 2 Either the disaccommodation or the disaccommodation factor may be used to describe the variation with time.

#### **A.2 Principle of the method**

The core is magnetically conditioned; the inductance or other quantity corresponding to initial permeability is measured at two specified times after magnetic conditioning. The disaccommodation factor (or the disaccommodation) is calculated from the difference in the measured values.

NOTE The disaccommodation normally decreases with increasing flux density so that it is generally given for low values of flux density.

#### **A.3 Specimens**

Cores taken from normal production shall be used for the measurement.

When the complete core consists of more than one part, for example, a pot core, and the disaccommodation is to be measured with a normal winding, it is preferable that the only air-gap in the flux path should be the residual air-gap at the contact surfaces. However, when there is a series of cores each with a different air-gap cut into the flux path it may be permissible to make the measurement on cores with the smallest available air-gap.

NOTE 1 In some cases, such as shaped cores with a centre-hole, the core parts can be wound as a toroid. The disaccommodation may be measured in that way after it has been established that the results are reasonably equal to, or correlate with, the results obtained with a normal winding and, moreover, the initial permeability along the toroidal flux path is not appreciably different from the initial permeability in the direction of the normal flux path.

NOTE 2 For certain materials, the disaccommodation changes appreciably in the period immediately after firing. Where this is the case, the article sheet may specify that the disaccommodation measurement for acceptance testing should not be made within a stated period after manufacture and it should also state from what instant this period should be measured.

#### **A.4 Timing device**

The inaccuracy of any time measurement shall not exceed 1 %. In the case where the timing device is started by the magnetic conditioning device, this figure shall include the inaccuracy of both the starting technique and the timing device.

NOTE In principle, for an electrical method, the reference time should be the moment when the field strength starts to decrease from the saturation value. For automatic conditioning systems, such as the capacitor discharge and the power amplifier method, the whole magnetic conditioning process is so short as to fall within the tolerance of the time to the first measurement.

## A.5 Procédure de mesure

- a) Le noyau est assemblé avec une bobine de mesure conformément à l'Article 4 de la CEI 62044-1.
- b) Le noyau doit être soumis au conditionnement magnétique par l'une des méthodes de l'Article 5 de la CEI 62044-1. La méthode utilisée doit être indiquée ainsi que les caractéristiques principales du dispositif de conditionnement. Dans tous les cas, l'instrument doit indiquer clairement et de manière reproductible le moment du conditionnement magnétique, étant donné que cela constitue le point de départ de mesure du temps et influence fortement la précision de la mesure de désaccommodation.
- c) Deux lectures sont relevées conformément à l'Article 9:
  - Dans la méthode électrique, la première 10 min et la seconde 100 min après le conditionnement magnétique.
  - Dans la méthode thermique, la première 24 h et la seconde 48 h après le temps de référence de mesure, qui est défini comme le moment où, pendant la période de refroidissement, la température atteint un point à 10 °C au-dessus de la température de mesure.

D'autres temps peuvent être utilisés, mais de préférence l'ensemble de la procédure ne doit pas prendre plus de 24 h pour la méthode électrique. La procédure de mesure et les conditions d'environnement doivent être identiques aux deux mesures.

La température entre deux lectures doit être maintenue constante et dans des limites soigneusement contrôlées de telle façon que la modification de l'inductance dépendant du temps ne soit affectée par les modifications dues au coefficient de température de l'inductance.

## A.6 Calcul

La désaccommodation  $D$  entre  $t_1$  et  $t_2$  est calculée par la différence des deux lectures par rapport à la première lecture. Dans le cas de la mesure d'inductance, elle est calculée par:

$$D = \frac{L_1 - L_2}{L_1 \times \lg(t_2 / t_1)} \quad (\text{A.1})$$

Le facteur de désaccommodation  $D_F$  peut être calculé par:

$$D_F = \frac{D}{\mu_i} \quad (\text{A.2})$$

où

$D_F$  est le facteur de désaccommodation, désaccommodation par unité de perméabilité;

$L_1$  est l'inductance propre mesurée à  $t_1$  min après le conditionnement magnétique;

$L_2$  est l'inductance propre mesurée à  $t_2$  min après le conditionnement magnétique.

NOTE La désaccommodation s'est avérée être approximativement proportionnelle au logarithme de temps, et pour cette raison le facteur de désaccommodation est normalement utilisé pour exprimer la variabilité avec le temps. Dans les limites de l'approximation, la désaccommodation d'un noyau avec entrefer peut être dérivée du facteur de désaccommodation du matériau (mesuré avec un tore):

$$D = \mu_e \times D_F \quad (\text{A.3})$$

## A.5 Measuring procedure

- a) The core is assembled with a measuring coil in accordance with Clause 4 of IEC 62044-1.
- b) The core shall be subjected to magnetic conditioning by one of the methods of Clause 5 of IEC 62044-1. The method used shall be stated together with the main characteristics of the conditioning device. In all cases, the instrument shall clearly and reproducibly indicate the moment of magnetic conditioning since this forms the starting point of time measurement and strongly influences the accuracy of disaccommodation measurement.
- c) Two readings are taken in accordance with Clause 9:
  - In the electrical method, the first 10 min and the second 100 min after magnetic conditioning;
  - In the thermal method, the first 24 h and the second 48 h after measurement reference time, which is defined as the moment when, during the cooling period, the temperature reaches a point 10 °C above the measurement temperature.

Other times may be used, but the whole procedure shall preferably not take more than 24 h for the electrical method. The measuring procedure and environmental conditions shall be identical at the two measurements.

The temperature between the two readings shall be kept constant and within tightly controlled limits such that the sensitivity of time dependant changes in inductance is not affected by changes due to the temperature coefficient of inductance.

## A.6 Calculation

The disaccommodation  $D$  between  $t_1$  and  $t_2$  is calculated from the difference of the two readings relative to the first reading. In the case of inductance measurement, it is calculated by:

$$D = \frac{L_1 - L_2}{L_1 \times \lg(t_2 / t_1)} \quad (\text{A.1})$$

The disaccommodation factor  $D_F$  may be calculated by:

$$D_F = \frac{D}{\mu_i} \quad (\text{A.2})$$

where

$D_F$  is the disaccommodation factor, disaccommodation per unit of permeability;

$L_1$  is the self-inductance measured at  $t_1$  min after magnetic conditioning;

$L_2$  is the self-inductance measured at  $t_2$  min after magnetic conditioning.

NOTE The disaccommodation has been found to be approximately proportional to the logarithm of time, and for this reason the disaccommodation factor is normally used to express the variability with time. Within the limits of the approximation, the disaccommodation of a core with air-gap can be derived from the disaccommodation factor of the material (as measured with a toroid):

$$D = \mu_e \times D_F \quad (\text{A.3})$$

## Annexe B (informative)

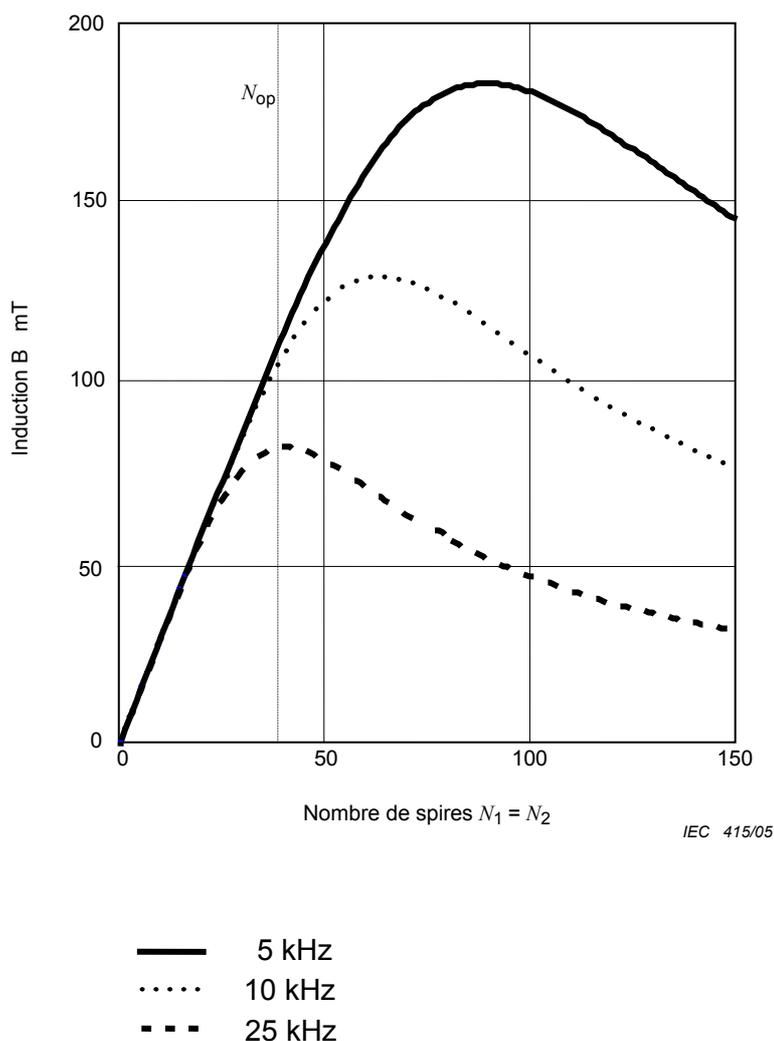
### Conditions de mesure pour les essais de THD

#### B.1 Objet

Donner des indications sur la détermination du nombre de spires et de la valeur  $A_L$  pour les conditions de mesures optimales. La cible des choix est aussi bien de maximiser l'induction de manière à atteindre la valeur spécifiée que de minimiser le Facteur de Correction de Circuit ( $CCF$ ) pour produire des lectures avec haute résolution.

#### B.2 Détermination du nombre de spires pour l'induction maximale

La variation d'induction en fonction du nombre de spires  $N_1 = N_2$  pour les conditions données en 13.3.1 est illustrée dans la Figure B.1.



**Figure B.1 – Induction en fonction du nombre de spires**

## Annex B (informative)

### Measurement conditions for *THD* testing

#### B.1 Object

To give indications on the determination of the number of turns and the  $A_L$  value for optimum measuring conditions. The target of the choices are both to maximize flux density so as to reach the specified value and minimize the Circuit Correction Factor (*CCF*) to yield readings with high resolution.

#### B.2 Determination of number of turns for maximum flux density

The variation of flux density with the number of turns  $N_1 = N_2$  for the conditions given in 13.3.1 is shown in Figure B.1.

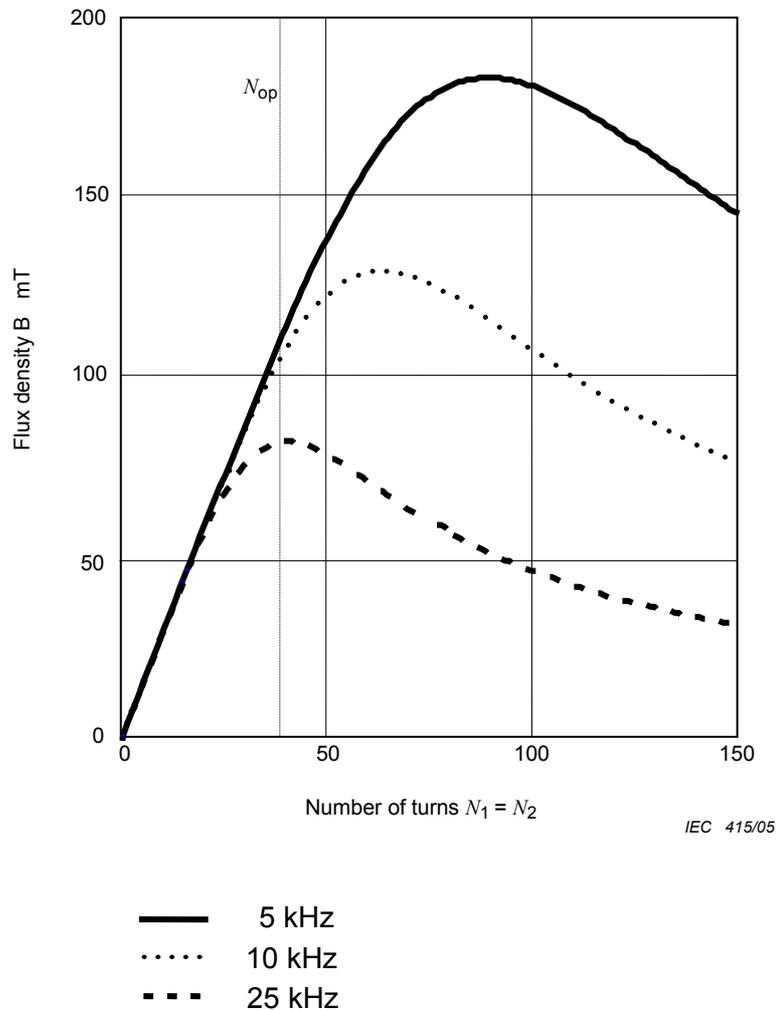


Figure B.1 – Flux density as a function of number of turns

Le nombre optimal de spires correspond au maximum de l'induction pour la fréquence la plus élevée  $f_{\max} = 25$  kHz et est donné par (voir la Figure B.1):

$$N_{\text{op}} = \sqrt{\frac{R_s}{\omega_{\max} \times A_L}} \quad (\text{B.1})$$

Pour ce nombre de spires, le maximum d'induction  $B_{\max}$  correspond alors à:

$$B_{\max} = \frac{\sqrt{2} \times U_{\text{oc}}}{N_{\text{op}} \times A_e \times \omega_{\max}} \quad (\text{B.2})$$

où

$U_{\text{oc}}$  est la tension efficace en circuit ouvert du générateur audio;

$B$  est exprimé en Teslas (T);

$A_e$  est la section transversale efficace donnée en m<sup>2</sup>.

Etant donné que l'induction doit être d'au moins  $B_{\text{measured}} = 50$  mT, la taille du noyau et la valeur  $A_L$  doivent être choisies conformément à:

$$A_e = \frac{U_{\text{oc}}}{B_{\text{measured}}} \sqrt{\frac{A_L}{\omega_{\max} \times R_s}} \quad (\text{B.3})$$

où

$B$  est exprimé en Teslas (T);

$A_e$  est la section transversale efficace donnée en m<sup>2</sup>.

### B.3 Détermination du nombre de spires pour le CCF minimal

La variation du CCF en fonction du nombre de spires  $N_1 = N_2$  pour les conditions données en 13.3.1 est illustrée dans la Figure B.2.

Le choix de  $N_{\text{op}}$  produit un  $CCF_{\max}$  maximum de:

$$CCF_{\max} = 20 \lg \left( \frac{1}{\sqrt{1 + (3\omega_{\max} \times N_{\text{op}}^2 \times A_L / R_s)^2}} \right) = -10 \text{ dB} \quad (\text{B.4})$$

The optimum number of turns corresponds to the maximum of the flux density for the highest frequency  $f_{\max} = 25$  kHz and is given by (see Figure B.1):

$$N_{\text{op}} = \sqrt{\frac{R_s}{\omega_{\max} \times A_L}} \quad (\text{B.1})$$

For this number of turns, the flux density maximum  $B_{\max}$  then reads:

$$B_{\max} = \frac{\sqrt{2} \times U_{\text{oc}}}{N_{\text{op}} \times A_e \times \omega_{\max}} \quad (\text{B.2})$$

where

$U_{\text{oc}}$  is the open-circuit r.m.s voltage of the audio generator;

$B$  is expressed in Tesla (T);

$A_e$  is the effective cross sectional area (m<sup>2</sup>).

Since the flux density has to be at least  $B_{\text{measured}} = 50$  mT, the size of the core and the  $A_L$  value need to be chosen according to

$$A_e = \frac{U_{\text{oc}}}{B_{\text{measured}}} \sqrt{\frac{A_L}{\omega_{\max} \times R_s}} \quad (\text{B.3})$$

where

$B$  is expressed in Tesla (T);

$A_e$  is the effective cross sectional area (m<sup>2</sup>).

### B.3 Determination of the number of turns for minimum CCF

The variation of CCF with the number of turns  $N_1 = N_2$  for the conditions given in 13.3.1 is shown in Figure B.2.

The choice of  $N_{\text{op}}$  yields a maximum  $CCF_{\max}$  of

$$CCF_{\max} = 20 \lg \left( \frac{1}{\sqrt{1 + (3\omega_{\max} \times N_{\text{op}}^2 \times A_L / R_s)^2}} \right) = -10 \text{ dB} \quad (\text{B.4})$$

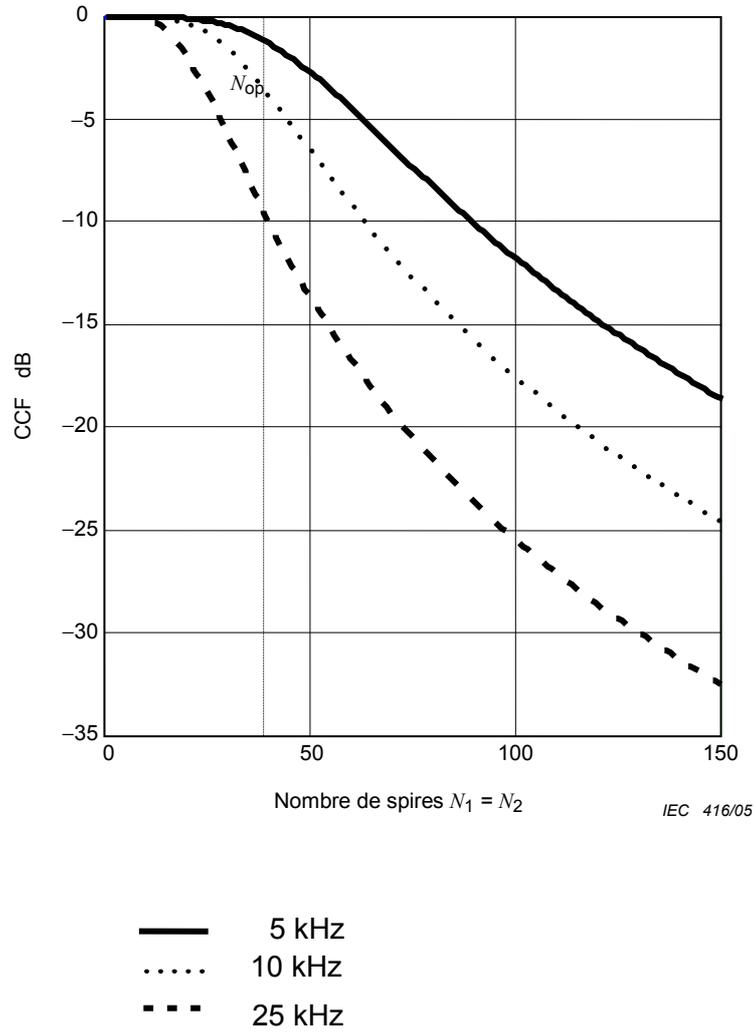


Figure B.2 – Facteur de correction de circuit (CCF) en fonction du nombre de spires



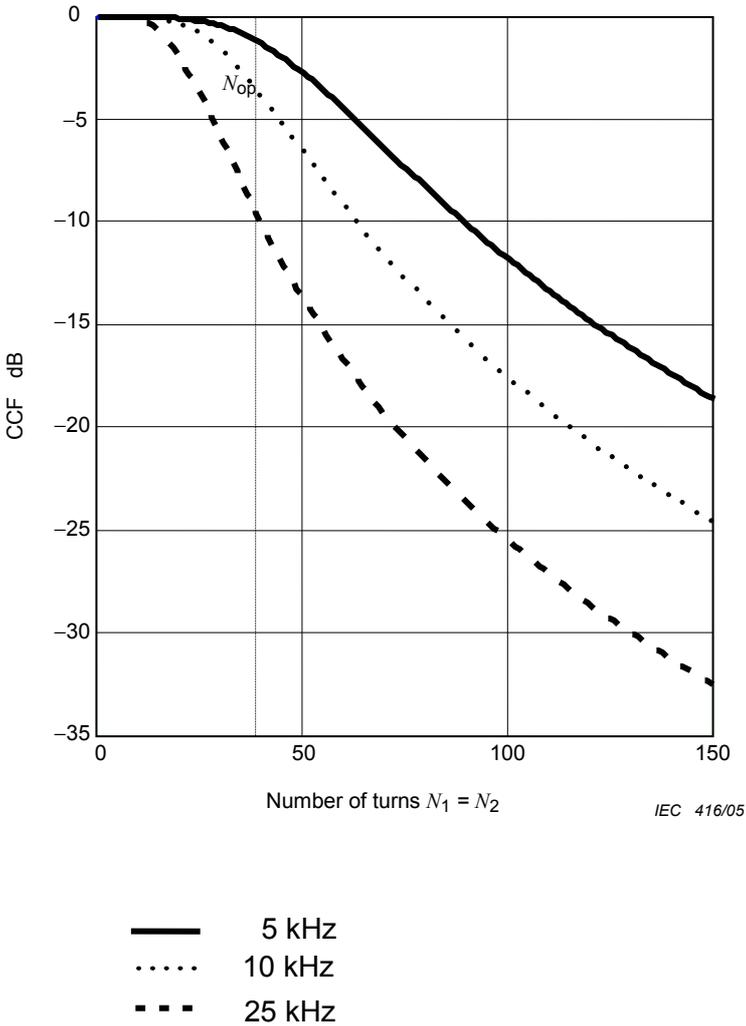


Figure B.2 – Circuit correction factor (CCF) as a function of number of turns

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE  
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.



## Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

### International Electrotechnical Commission

3, rue de Varembé  
1211 Genève 20  
Switzerland

or

Fax to: **IEC/CSC** at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Customer Service Centre (CSC)  
**International Electrotechnical Commission**  
3, rue de Varembé  
1211 GENEVA 20  
Switzerland



**Q1** Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: (e.g. 60601-1-1)

.....

**Q2** Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard (tick all that apply). I am the/a:

- purchasing agent
- librarian
- researcher
- design engineer
- safety engineer
- testing engineer
- marketing specialist
- other.....

**Q3** I work for/in/as a: (tick all that apply)

- manufacturing
- consultant
- government
- test/certification facility
- public utility
- education
- military
- other.....

**Q4** This standard will be used for: (tick all that apply)

- general reference
- product research
- product design/development
- specifications
- tenders
- quality assessment
- certification
- technical documentation
- thesis
- manufacturing
- other.....

**Q5** This standard meets my needs: (tick one)

- not at all
- nearly
- fairly well
- exactly

**Q6** If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: (tick all that apply)

- standard is out of date
- standard is incomplete
- standard is too academic
- standard is too superficial
- title is misleading
- I made the wrong choice
- other .....

**Q7** Please assess the standard in the following categories, using the numbers:

- (1) unacceptable,
- (2) below average,
- (3) average,
- (4) above average,
- (5) exceptional,
- (6) not applicable

- timeliness.....
- quality of writing.....
- technical contents.....
- logic of arrangement of contents .....
- tables, charts, graphs, figures.....
- other .....

**Q8** I read/use the: (tick one)

- French text only
- English text only
- both English and French texts

**Q9** Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....





Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

**Commission Electrotechnique Internationale**

3, rue de Varembé  
1211 Genève 20  
Suisse

ou

Télécopie: **CEI/CSC** +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

**A Prioritaire**

Nicht frankieren  
Ne pas affranchir



Non affrancare  
No stamp required

**RÉPONSE PAYÉE**

**SUISSE**

Centre du Service Clientèle (CSC)  
**Commission Electrotechnique Internationale**  
3, rue de Varembé  
1211 GENÈVE 20  
Suisse



**Q1** Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact:  
(ex. 60601-1-1)  
.....

**Q2** En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?  
(cochez tout ce qui convient)  
Je suis le/un:

- agent d'un service d'achat
- bibliothécaire
- chercheur
- ingénieur concepteur
- ingénieur sécurité
- ingénieur d'essais
- spécialiste en marketing
- autre(s).....

**Q3** Je travaille:  
(cochez tout ce qui convient)

- dans l'industrie
- comme consultant
- pour un gouvernement
- pour un organisme d'essais/  
certification
- dans un service public
- dans l'enseignement
- comme militaire
- autre(s).....

**Q4** Cette norme sera utilisée pour/comme  
(cochez tout ce qui convient)

- ouvrage de référence
- une recherche de produit
- une étude/développement de produit
- des spécifications
- des soumissions
- une évaluation de la qualité
- une certification
- une documentation technique
- une thèse
- la fabrication
- autre(s).....

**Q5** Cette norme répond-elle à vos besoins:  
(une seule réponse)

- pas du tout
- à peu près
- assez bien
- parfaitement

**Q6** Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:  
(cochez tout ce qui convient)

- la norme a besoin d'être révisée
- la norme est incomplète
- la norme est trop théorique
- la norme est trop superficielle
- le titre est équivoque
- je n'ai pas fait le bon choix
- autre(s) .....

**Q7** Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres  
(1) inacceptable,  
(2) au-dessous de la moyenne,  
(3) moyen,  
(4) au-dessus de la moyenne,  
(5) exceptionnel,  
(6) sans objet

- publication en temps opportun .....
- qualité de la rédaction.....
- contenu technique .....
- disposition logique du contenu .....
- tableaux, diagrammes, graphiques,  
figures .....
- autre(s) .....

**Q8** Je lis/utilise: (une seule réponse)

- uniquement le texte français
- uniquement le texte anglais
- les textes anglais et français

**Q9** Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....



LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE  
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

ISBN 2-8318-7891-8



9 782831 878911

---

ICS 29.100.10

---