

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60404-6

Deuxième édition
Second edition
2003-06

Matériaux magnétiques –

Partie 6:

**Méthodes de mesure des propriétés magnétiques
des matériaux métalliques et des matériaux en
poudre magnétiquement doux, aux fréquences
comprises entre 20 Hz et 200 kHz, sur des
éprouvettes en forme de tore**

Magnetic materials –

Part 6:

**Methods of measurement of the magnetic
properties of magnetically soft metallic and
powder materials at frequencies in the range
20 Hz to 200 kHz by the use of ring specimens**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60404-6:2003

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)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) 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 (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) 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
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)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) 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 (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) 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
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60404-6

Deuxième édition
Second edition
2003-06

Matériaux magnétiques –

Partie 6:

**Méthodes de mesure des propriétés magnétiques
des matériaux métalliques et des matériaux en
poudre magnétiquement doux, aux fréquences
comprises entre 20 Hz et 200 kHz, sur des
échantillons en forme de tore**

Magnetic materials –

Part 6:

**Methods of measurement of the magnetic
properties of magnetically soft metallic and
powder materials at frequencies in the range
20 Hz to 200 kHz by the use of ring specimens**

© IEC 2003 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 Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
1 Domaine d'application.....	10
2 Références normatives	10
3 Principes généraux de mesure.....	12
3.1 Epreuve.....	12
3.2 Enroulements	14
4 Mesures de température	14
5 Mesure de la perméabilité magnétique et de la courbe d'aimantation au moyen de la méthode du voltmètre-ampèremètre.....	16
5.1 Introduction	16
5.2 Appareillage et branchements	16
5.3 Détermination de l'intensité du champ magnétique.....	18
5.4 Détermination de l'induction magnétique	20
5.5 Détermination de la perméabilité d'amplitude efficace et de la perméabilité d'amplitude relative	20
5.6 Détermination de la courbe d'aimantation	22
6 Mesure de la perte totale spécifique par la méthode du wattmètre	22
6.1 Principe de la mesure	22
7 Mesure des propriétés magnétiques au moyen d'un pont d'impédance numérique	24
7.1 Principe de mesure	24
7.2 Appareillage	26
7.3 Mode opératoire	26
7.4 Détermination de la perméabilité relative d'inductance en courant alternatif	28
7.5 Détermination de la perte totale spécifique	28
8 Mesure des propriétés magnétiques au moyen de méthodes numériques	28
8.1 Introduction	28
8.2 Appareils et branchements	30
8.3 Forme de l'onde du courant d'aimantation	30
8.4 Enroulement d'aimantation	30
8.5 Détermination de l'intensité du champ magnétique	30
8.6 Détermination de l'induction magnétique	32
8.7 Détermination de la perméabilité relative en courant alternatif	32
8.8 Détermination de la courbe d'aimantation en courant alternatif	32
8.9 Détermination de la perte totale spécifique	32
9 Incertitudes.....	34
10 Rapport d'essai.....	34
 Annexe A (informative) Lignes directrices relatives aux prescriptions pour les enroulements et l'instrumentation afin de minimiser les pertes complémentaires.....	40
Annexe B (informative) Maîtrise de la forme de l'onde sinusoïdale par moyens numériques	42
 Bibliographie.....	44

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 General principles of measurement	13
3.1 Test specimen	13
3.2 Windings	15
4 Temperature measurements	15
5 Measurement of magnetic permeability and magnetization curve using the voltmeter-ammeter method	17
5.1 Introduction.....	17
5.2 Apparatus and connections	17
5.3 Determination of magnetic field strength.....	19
5.4 Determination of the magnetic flux density	21
5.5 Determination of the r.m.s. amplitude permeability and the relative amplitude permeability	21
5.6 Determination of magnetization curve.....	23
6 Measurement of specific total loss by the wattmeter method	23
6.1 Principle of measurement.....	23
7 Measurement of magnetic properties using a digital impedance bridge	25
7.1 Principle of measurement.....	25
7.2 Apparatus	27
7.3 Procedure.....	27
7.4 Determination of the relative a.c. inductance permeability.....	29
7.5 Determination of the specific total loss	29
8 Measurement of magnetic properties using digital methods	29
8.1 Introduction.....	29
8.2 Apparatus and connections	31
8.3 Magnetizing current waveform.....	31
8.4 Magnetizing winding.....	31
8.5 Determination of the magnetic field strength.....	31
8.6 Determination of the magnetic flux density	33
8.7 Determination of the relative a.c. permeability	33
8.8 Determination of a.c. magnetization curve	33
8.9 Determination of the specific total loss	33
9 Uncertainties.....	35
10 Test report.....	35
Annex A (informative) Guidance on requirements for windings and instrumentation in order to minimise additional losses	41
Annex B (informative) Sinusoidal waveform control by digital means	43
Bibliography	45

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 6: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux métalliques et des matériaux en poudre magnétiquement doux, aux fréquences comprises entre 20 Hz et 200 kHz, sur des éprouvettes en forme de tore

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60404-6 a été établie par le comité d'études 68 de la CEI: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition publiée en 1986 et constitue une révision technique.

Le domaine d'application de la première édition a été étendu pour inclure tous les matériaux magnétiquement doux, à l'exception des ferrites. Le chapitre 1 de la première édition concernant les mesures en courant continu est couvert dans la CEI 60404-4 (1995) et son amendement 1 (2000).

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
68/271/FDIS	68/275/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.

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –

**Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties
of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies
in the range 20 Hz to 200 kHz by the use of ring specimens**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60404-6 has been prepared by IEC technical committee 68: Magnetic alloys and steels.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1986 and constitutes a technical revision.

The scope of the first edition has been extended to include all magnetically soft materials except ferrites. Chapter 1 of the first edition relating to d.c. measurements is covered by IEC 60404-4 (1995) and its amendment 1 (2000).

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

FDIS	Report on voting
68/271/FDIS	68/275/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.

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007.
A cette date, la publication sera

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

Le contenu du corrigendum de février 2009 a été pris en considération dans cet exemplaire.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60404-6:2003

Withd2W

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

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

The contents of the corrigendum of February 2009 have been included in this copy.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60404-6:2003

Withdrawn

INTRODUCTION

Cette édition de la CEI 60404-6 a été préparée par le WG 2 dans le cadre du programme de maintenance des publications du TC 68. Les mesures en courant continu dans la première édition de cette norme sont maintenant couvertes par la CEI 60404-4 et son Amendement 1. La présente édition de la CEI 60404-6 inclut les mesures sur les matériaux en poudre magnétiquement doux. Puisque les mesures sur ces matériaux à hautes fréquences emploient certaines des techniques utilisées pour la mesure sur des composants magnétiques, il y a eu une active collaboration avec le CEI TC 51. Le CEI TC 51 a récemment commencé à publier la nouvelle série de normes CEI 62044, qui se composera de quatre parties. La CEI 62044-3 présente des méthodes de mesure des propriétés magnétiques à des niveaux élevés d'excitation, appropriées aux diverses applications des noyaux de ferrite, alors que la présente édition de la CEI 60404-6 couvre les prescriptions relatives aux mesures des matériaux à l'exception des ferrites, de façon que les deux normes ne se recouvrent pas.

INTRODUCTION

This edition of IEC 60404-6 has been prepared by WG2 in the TC68 maintenance programme of publications. The d.c. measurements in the first edition of this standard are now covered in IEC 60404-4 and Amendment 1 to that standard. This edition of IEC 60404-6 includes measurements on magnetically soft powder materials. Since measurements on these materials at high frequencies employ some of the techniques used to measure magnetic components, there has been active collaboration with IEC TC51. IEC TC51 recently started to publish the new IEC 62044 series which will be composed of four parts. IEC 62044-3 presents methods of measurement of magnetic properties at high excitation levels appropriate to various ferrite core applications, whereas this edition of IEC 60404-6 covers the requirements of material measurements excluding ferrites, so that the two standards do not overlap.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60404-6:2003

Withd2W

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 6: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux métalliques et des matériaux en poudre magnétiquement doux, aux fréquences comprises entre 20 Hz et 200 kHz, sur des éprouvettes en forme de tore

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60404 spécifie des méthodes de mesure des propriétés magnétiques en courant alternatif, dans la gamme de fréquences comprise entre 20 Hz et 200 kHz, pour les matériaux autres que les aciers électriques et les ferrites doux. Les matériaux couverts par la présente partie de la CEI 60404 incluent les alliages de spécialité énumérés dans la CEI 60404-8-6, les matériaux amorphes et nanocristallins, les pièces compressées et frittées et les pièces moulées par injection de métal énumérées dans la CEI 60404-8-9, les pièces moulées et les matériaux composites magnétiquement doux.

L'objet de la présente partie est de définir les principes généraux et les détails techniques de la mesure des propriétés magnétiques des matériaux magnétiquement doux au moyen des méthodes du tore. Pour les matériaux livrés sous forme de poudre, une éprouvette en forme d'anneau est réalisée par la méthode de compression appropriée pour ce matériau.

Les mesures magnétiques en courant continu sur les matériaux magnétiquement doux doivent être réalisées selon la méthode du tore de la CEI 60404-4. Les déterminations des caractéristiques magnétiques des composants magnétiquement doux doivent être réalisées selon la CEI 62044-3.

Normalement, les mesures doivent être réalisées à température ambiante de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sur des éprouvettes en forme d'anneau qui ont été d'abord aimantées, puis désaimantées. Des mesures peuvent être faites pour d'autres gammes de températures, par accord entre le fournisseur et l'acheteur.

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 62044-3:2000, *Noyaux en matériaux magnétiques doux – Méthodes de mesure – Partie 3: Propriétés magnétiques à niveau élevé d'excitation*

CEI 60404-2:1996, *Matériaux magnétiques – Partie 2: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des tôles et bandes magnétiques au moyen d'un cadre Epstein*

CEI 60404-4:1995, *Matériaux magnétiques – Partie 4: Méthodes de mesure en courant continu des propriétés magnétiques du fer et de l'acier*
Amendement 1:2000

CEI 60404-8-6:1999, *Matériaux magnétiques – Partie 8-6: Spécifications pour matériaux particuliers – Matériaux métalliques magnétiquement doux*

CEI 60404-8-9:1994, *Matériaux magnétiques – Partie 8: Spécifications pour matériaux particuliers – Section 9: Spécification des matériaux magnétiques doux frittés*

ISO/CEI Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure, 1993

MAGNETIC MATERIALS –

Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies in the range 20 Hz to 200 kHz by the use of ring specimens

1 Scope

This part of IEC 60404 specifies methods for the measurement of a.c. magnetic properties of materials in the frequency range 20 Hz to 200 kHz other than electrical steels and soft ferrites. The materials covered by this part of IEC 60404 include those speciality alloys listed in IEC 60404-8-6, amorphous and nanocrystalline materials, pressed and sintered and metal injection moulded parts such as are listed in IEC 60404-8-9, cast parts and magnetically soft composite materials.

The object of this part is to define the general principles and the technical details of the measurement of the magnetic properties of magnetically soft materials by means of ring methods. For materials supplied in powder form, a ring test specimen is formed by the appropriate pressing method for that material.

DC magnetic measurements on magnetically soft materials shall be made in accordance with the ring method of IEC 60404-4. The determinations of the magnetic characteristics of magnetically soft components shall be made in accordance with IEC 62044-3.

Normally, the measurements shall be made at an ambient temperature of $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ on ring test specimens which have first been magnetized, then demagnetized. Measurements can be made over other temperature ranges by agreement between supplier and purchaser.

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 62044-3:2000, *Cores made of soft magnetic materials – Measuring methods – Part 3: Magnetic properties at high excitation levels*

IEC 60404-2:1996, *Magnetic materials – Part 2: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel sheet and strip by means of an Epstein frame*

IEC 60404-4:1995, *Magnetic materials – Part 4: Methods of measurement of d.c. magnetic properties of iron and steel*
Amendment 1:2000

IEC 60404-8-6:1999, *Magnetic materials – Part 8-6: Specifications for individual materials – Soft magnetic metallic materials*

IEC 60404-8-9:1994, *Magnetic materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section 9: Standard specification for sintered soft magnetic materials*

ISO/IEC Guide to the expression of uncertainty in measurement, 1993

3 Principes généraux de mesure

Les mesures sont faites sur un circuit magnétique fermé constitué d'une éprouvette en forme d'anneau entouré par un ou deux enroulements.

3.1 Eprouvette

L'éprouvette doit avoir la forme d'un anneau de section droite rectangulaire qui peut être constitué par

- a) enroulement d'une bande mince ou d'un fil fin pour fabriquer un noyau toroïdal enroulé comme un ressort d'horlogerie; ou par
- b) poinçonnage, découpage au laser ou usinage photochimique des lamelles de l'anneau; ou par
- c) compression et frittage de poudres, moulage par injection de métal ou coulée.

Dans le cas des matériaux en poudre, la production d'une éprouvette en forme d'anneau par moulage du métal sous pression ou par compression (avec chauffage, le cas échéant) doit être effectuée selon les recommandations du fabricant du matériau pour obtenir la performance magnétique optimale du matériau en poudre.

Pour tous les types d'éprouvette, il convient de supprimer les bavures et les arêtes vives avant le traitement thermique. Dans le cas d'un matériau à perméabilité élevée, il est préférable d'insérer l'éprouvette en forme d'anneau dans un boîtier annulaire en deux parties. Les dimensions du boîtier doivent être telles qu'il s'ajuste parfaitement sans introduire de contrainte dans le matériau de l'éprouvette.

L'anneau doit avoir des dimensions telles que le rapport du diamètre extérieur au diamètre intérieur ne soit pas supérieur à 1,4 et soit, de préférence, inférieur à 1,25.

Pour les matériaux solides et les matériaux en poudre compressés, les dimensions de l'éprouvette – c'est-à-dire les diamètres extérieur et intérieur et la hauteur de l'anneau – doivent être mesurées avec des instruments de mesure étalonnés appropriés. Ces dimensions doivent être mesurées à plusieurs emplacements sur une éprouvette et prises égales à la moyenne des mesures. La section de l'éprouvette doit être calculée à partir de

$$A = \frac{(D - d)}{2} h \quad (1)$$

où

A est la section de l'éprouvette, en mètres carrés;

D est le diamètre extérieur de l'éprouvette, en mètres;

d est le diamètre intérieur de l'éprouvette, en mètres;

h est la hauteur de l'éprouvette, en mètres.

Pour un empilage de tôles ou un noyau enroulé toroïdal, la section de l'éprouvette doit être calculée à partir de la masse, de la masse volumique et des valeurs des diamètres intérieur et extérieur de l'anneau. La masse et les diamètres doivent être mesurés avec des instruments étalonnés appropriés. La masse volumique doit être la masse volumique conventionnelle pour le matériau indiquée par le producteur. La section doit être calculée à partir de

$$A = \frac{2m}{\rho\pi(D+d)} \quad (2)$$

3 General principles of measurement

The measurements are made on a closed magnetic circuit in the form of a ring test specimen wound with one or two windings.

3.1 Test specimen

The test specimen shall be in the form of a ring of rectangular cross-section which may be formed by

- a) winding thin strip or wire to produce a clock-spring wound toroidal core; or
- b) punching, laser cutting or photochemically etching ring laminations; or
- c) pressing and sintering of powders, metal injection moulding or casting.

In the case of powder materials, the production of a ring test specimen by metal injection moulding or by pressing (with heating if applicable) shall be carried out in accordance with the material manufacturer's recommendations to achieve the optimum magnetic performance of the powder material.

For all types of test specimen, burrs and sharp edges should be removed prior to heat treatment. In the case of high permeability material, it is preferable to enclose the ring test specimen in a two-part annular case. The case dimensions shall be such that it closely fits without introducing stress into the material of the test specimen.

The ring shall have dimensions such that the ratio of the outer to inner diameter shall be no greater than 1,4 and preferably less than 1,25.

For solid and pressed powder materials, the dimensions of the test specimen, that is the outer and inner diameters and the height of the ring, shall be measured with suitable calibrated measuring instruments. The respective dimensions shall be measured at several locations on a test specimen and averaged. The cross-sectional area of the test specimen shall be calculated from

$$A = \frac{(D - d)}{2} h \quad (1)$$

where

A is the cross-sectional area of the test specimen, in square metres;

D is the outer diameter of the test specimen, in metres;

d is the inner diameter of the test specimen, in metres;

h is the height of the test specimen, in metres.

For a stack of laminations or a toroidal wound core, the cross-sectional area of the test specimen shall be calculated from the mass, density and the values of the inner and outer diameter of the ring. The mass and diameters shall be measured with suitable calibrated instruments. The density shall be the conventional density for the material supplied by the manufacturer. The cross-sectional area shall be calculated from

$$A = \frac{2 m}{\rho \pi (D + d)} \quad (2)$$

où

m est la masse de l'éprouvette, en kilogrammes;

ρ est la masse volumique du matériau, en kilogrammes par mètre cube.

Pour le calcul de l'intensité du champ magnétique, utiliser la longueur moyenne du circuit magnétique de l'éprouvette déterminée à partir

$$\ell_m = \pi \frac{(D+d)}{2} \quad (3)$$

où ℓ_m est la longueur moyenne du circuit magnétique, en mètres.

Si la perte totale spécifique doit être déterminée, alors la masse de l'éprouvette doit être mesurée.

3.2 Enroulements

Le nombre d'enroulements et le nombre de tours dépendent de l'appareillage et de la méthode de mesure employés. Pour les mesures des pertes totales spécifiques, un enroulement d'aimantation et un enroulement secondaire sont normalement exigés. Dans ce cas, l'enroulement secondaire doit être enroulé aussi près que possible de l'éprouvette afin de réduire au minimum l'effet du flux dans l'air se trouvant dans l'enroulement. Tous les enroulements doivent être enroulés uniformément sur toute la longueur de l'éprouvette.

Pour des mesures à des fréquences supérieures aux fréquences du courant, on doit prendre soin d'éviter les complications dues aux effets de condensateur et à d'autres effets. Celles-ci sont présentées et discutées dans l'Annexe A.

On doit prendre soin de s'assurer que l'isolation du fil n'est pas endommagée pendant le procédé d'enroulement, entraînant un court-circuit dans l'éprouvette. Un contrôle électrique doit être fait avec un appareil approprié de mesure de résistance d'isolement en courant alternatif pour s'assurer qu'il n'y a aucune connexion directe entre l'enroulement et l'éprouvette.

4 Mesures de température

Lorsque la température de la surface de l'éprouvette est exigée, elle doit être mesurée en fixant un thermocouple non magnétique étalonné (par exemple un thermocouple de type T) à l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est enveloppée, un petit trou doit être fait dans l'enveloppe en prenant soin de ne pas endommager le matériau de l'éprouvette, et le thermocouple doit être fixé au contact du matériau du noyau. Si cela n'est pas possible, le thermocouple doit être fixé à l'enveloppe et ce mode opératoire doit être consigné dans le rapport d'essai. Le thermocouple doit être relié à un voltmètre numérique étalonné approprié afin de mesurer sa tension de sortie qui peut être reliée à la température correspondante, grâce aux tables d'étalonnage du thermocouple.

Lorsque la température de l'éprouvette varie en fonction du temps après aimantation, les mesures des propriétés magnétiques doivent être effectuées soit quand une température convenue est atteinte, soit après un temps convenu entre l'acheteur et le fournisseur. Si des mesures doivent être faites à température élevée, celles-ci peuvent être effectuées avec l'éprouvette placée dans un four approprié pour produire la température exigée.

NOTE Un effet de relaxation magnétique dépendant du temps au second ordre peut également modifier les propriétés magnétiques. Pour les types de matériaux couverts par cette norme, l'effet est habituellement masqué par les changements de température. Cependant, si de tels effets de relaxation magnétique apparaissent, alors il convient de permettre le maintien de l'éprouvette à l'induction magnétique prescrite ou à l'intensité de champ magnétique prescrite pendant une période convenue avant de faire les mesures finales.

where

m is the mass of the test specimen, in kilograms;

ρ is the density of the material, in kilograms per cubic metre.

For the calculation of the magnetic field strength, use the mean magnetic path length of the test specimen determined from

$$\ell_m = \pi \frac{(D + d)}{2} \quad (3)$$

where ℓ_m is the mean magnetic path length of the test specimen, in metres.

If the specific total loss is to be determined, then the mass of the test specimen shall be measured.

3.2 Windings

The number of windings and the number of turns depend upon the measuring equipment and method being used. For specific total loss measurements, a magnetizing and a secondary winding are normally required. In this case, the secondary winding shall be wound as closely as possible to the test specimen to minimize the effect of air flux included in the winding. All windings shall be wound uniformly over the whole length of the test specimen.

For measurements at frequencies above power frequencies, care shall be taken to avoid complications related to capacitance and other effects. These are introduced and discussed in Annex A.

Care shall be taken to ensure that the wire insulation is not damaged during the winding process causing a short circuit to the test specimen. An electrical check shall be made with a suitable a.c. insulation resistance measuring device to ensure that there is no direct connection between the winding and the test specimen.

4 Temperature measurements

When the temperature of the surface of the test specimen is required, it shall be measured by affixing a calibrated non-magnetic thermocouple (for example a type T thermocouple) to the test specimen. Where the test specimen is encapsulated, a small hole shall be made in the encapsulation, taking care not to damage the material of the test specimen, and the thermocouple fixed in contact with the core material. If this is not possible, the thermocouple shall be affixed to the encapsulation and this procedure shall be reported in the test report. The thermocouple shall be connected to a suitable calibrated digital voltmeter in order to measure its output voltage which can be related to the corresponding temperature through the calibration tables for the thermocouple.

Where the temperature of the test specimen is found to vary with time after magnetization, the measurements of the magnetic properties shall be carried out either when an agreed temperature is reached or after a time agreed between the purchaser and supplier. If measurements are to be made at elevated temperatures, these may be carried out with the test specimen placed in a suitable oven to produce the required temperature.

NOTE A second smaller time-dependent magnetic relaxation effect may also affect the magnetic properties. For the types of materials covered by this standard, the effect is usually masked by temperature changes. However, if such magnetic relaxation effects become apparent, then the test specimen should be allowed to dwell at the prescribed magnetic flux density or magnetic field strength for an agreed period of time before making the final measurements.

5 Mesure de la perméabilité magnétique et de la courbe d'aimantation au moyen de la méthode du voltmètre-ampèremètre

5.1 Introduction

Les mesures sont faites en utilisant la méthode du tore normalement aux fréquences de 20 Hz à 200 kHz, la fréquence supérieure étant limitée par la performance de l'instrumentation.

NOTE 1 Lorsque les instruments étalonnés appropriés existent, cette limite supérieure peut être étendue jusqu'à 1 MHz.

NOTE 2 Il convient que les mesures en courant continu soient faites selon la méthode du tore décrite dans la CEI 60404-4.

NOTE 3 Un choix de méthodes pour la mesure des pertes et de la perméabilité efficace des noyaux, prélevés dans la production courante, à niveaux élevés d'excitation et à des fréquences s'étendant pratiquement du courant continu à 10 MHz, voire à des fréquences plus élevées, est donné en 6.2 et 6.3 de la CEI 62044-3.

5.2 Appareillage et branchements

L'éprouvette en forme d'anneau doit être entourée par un enroulement d'aimantation, N_1 , et un enroulement secondaire, N_2 (voir 3.2 et Annexe A).

Les appareils doivent être branchés comme indiqué à la Figure 1.

La source de courant alternatif doit présenter une variation de tension et une variation de fréquence à sa sortie n'excédant pas $\pm 0,2\%$ de la valeur ajustée pendant la mesure. Elle doit être branchée à un voltmètre de valeur efficace vraie ou un voltmètre de valeur de crête, et à une résistance de précision, en série avec l'enroulement d'aimantation N_1 sur l'éprouvette en forme d'anneau, pour mesurer le courant d'aimantation.

Le circuit secondaire comporte un enroulement secondaire N_2 branché à deux voltmètres en parallèle. Un voltmètre (V_2) mesure la valeur efficace vraie, l'autre (V_1) mesure la valeur moyenne redressée mais il est parfois gradué en valeurs égales à 1,111 fois la valeur redressée.

NOTE Il convient de vérifier la forme de l'onde de la tension secondaire avec un oscilloscope pour s'assurer que seulement la composante fondamentale est présente.

5.2.1 Forme de l'onde de la tension secondaire ou du courant d'aimantation

Afin d'obtenir des mesures comparables, on doit convenir avant les mesures que la forme de l'onde de la tension secondaire ou la forme de l'onde du courant d'aimantation doit être maintenue sinusoïdale avec un facteur de forme de $1,111 \pm 1\%$. Dans ce dernier cas, une résistance non inductive branchée en série au circuit d'aimantation est exigée.

NOTE 1 Il convient que la constante de temps de la résistance non inductive soit faible pour s'assurer que la forme de l'onde se trouve à l'intérieur de limites spécifiées.

NOTE 2 La résistance non inductive peut être la même résistance que celle utilisée pour la mesure du courant d'aimantation.

NOTE 3 La maîtrise de la forme de l'onde sinusoïdale peut être assurée par des moyens numériques (voir Annexe B).

Aux fréquences dans la gamme 20 Hz à 50 kHz, le facteur de forme de la tension secondaire peut être déterminé en branchant deux voltmètres ayant une impédance élevée (typiquement $>1\text{ M}\Omega$ en parallèle avec 90 pF à 150 pF) aux bornes de l'enroulement secondaire. Un voltmètre doit être sensible à la valeur efficace de la tension et un autre doit être sensible à la valeur moyenne redressée de la tension secondaire. Le facteur de forme est alors déterminé à partir du rapport entre la valeur efficace et la valeur moyenne redressée.

5 Measurement of magnetic permeability and magnetization curve using the voltmeter-ammeter method

5.1 Introduction

The measurements are made using the ring method at frequencies normally from 20 Hz to 200 kHz, the upper frequency being limited by the performance of the instrumentation.

NOTE 1 Where suitable calibrated instruments exist, this upper limit may be extended to 1 MHz.

NOTE 2 DC measurements should be made in accordance with the ring method described in IEC 60404-4.

NOTE 3 A selection of methods for the measurement of loss and effective permeability of cores, taken from current production, at high excitation levels and at frequencies ranging from practically d.c. to 10 MHz and even higher, is given in 6.2 and 6.3 of IEC 62044-3.

5.2 Apparatus and connections

The ring test specimen shall be wound with a magnetizing winding, N_1 , and a secondary winding, N_2 (see 3.2 and Annex A).

The apparatus shall be connected as shown in Figure 1.

The source of alternating current shall have a variation of voltage and frequency at its output individually not exceeding $\pm 0,2$ % of the adjusted value during the measurement. It shall be connected to a true r.m.s. or peak reading voltmeter and a precision resistor, in series with the magnetizing winding N_1 on the ring test specimen, to measure the magnetizing current.

The secondary circuit comprises a secondary winding N_2 connected to two voltmeters in parallel. One voltmeter (V_2) measures the true r.m.s. value, the other (V_1) measures the average rectified value but is sometimes scaled in values 1,111 times the rectified value.

NOTE The waveform of the secondary voltage should be checked with an oscilloscope to ensure that only the fundamental component is present.

5.2.1 Waveform of secondary voltage or magnetizing current

In order to obtain comparable measurements, it shall be agreed prior to the measurements that either the waveform of the secondary voltage or the waveform of the magnetizing current shall be maintained sinusoidal with a form factor of $1,111 \pm 1$ %. In the latter case, a non-inductive resistor connected in series with the magnetizing circuit is required.

NOTE 1 The time constant of the non-inductive resistor should be low to ensure that the waveform is within the specified limits.

NOTE 2 The non-inductive resistor can be the same resistor as used for the measurement of the magnetizing current.

NOTE 3 Sinusoidal waveform control may be achieved by digital means (see Annex B).

At frequencies in the range 20 Hz to 50 kHz, the form factor of the secondary voltage can be determined by connecting two voltmeters having a high impedance (typically >1 M Ω in parallel with 90 pF to 150 pF) across the secondary winding. One voltmeter shall be responsive to the r.m.s. value of voltage and one shall be responsive to the average rectified value of the secondary voltage. The form factor is then determined from the ratio of the r.m.s. value to the average rectified value.

NOTE 4 Pour un transfert optimal de puissance, il peut être nécessaire d'optimiser le nombre de tours de l'enroulement d'aimantation pour s'adapter à l'impédance de sortie de la source de courant. Cela peut être déterminé à partir de

$$Z = j\omega L \quad (4)$$

où

Z est l'impédance de sortie de la source de courant, en ohms;

ω est la fréquence angulaire de la sortie de la source de courant, en radians par seconde;

L est l'inductance efficace de l'enroulement d'aimantation de l'éprouvette en forme d'anneau, en henrys, calculée à partir de

$$L = \frac{N_1^2 A \mu_0 \mu_r}{\ell_m} \quad (5)$$

où

N_1 est le nombre de tours de l'enroulement d'aimantation;

A est la section de l'éprouvette, en mètres carrés;

μ_0 est la constante magnétique ($= 4 \pi 10^{-7}$ henrys par mètre);

μ_r est la perméabilité relative de l'éprouvette;

ℓ_m est la longueur moyenne du circuit magnétique de l'éprouvette, en mètres.

Lorsque la perméabilité magnétique relative n'est pas connue, une mesure préliminaire de l'intensité du champ magnétique et de l'induction magnétique, comme décrit en 5.3 et 5.4, et de la perméabilité magnétique relative calculée comme indiqué en 5.5 peut être nécessaire.

5.3 Détermination de l'intensité du champ magnétique

L'intensité du champ magnétique à laquelle la mesure doit être faite est calculée à partir de la relation suivante:

$$H = \frac{N_1 I}{\ell_m} \quad (6)$$

où

H est l'intensité du champ magnétique, en ampères par mètre;

N_1 est le nombre de tours de l'enroulement d'aimantation sur l'éprouvette;

I est le courant d'aimantation, en ampères;

ℓ_m est la longueur moyenne du circuit magnétique, en mètres.

Normalement, l'amplitude de l'intensité du champ magnétique est déterminée en mesurant la valeur efficace du courant d'aimantation et en le multipliant par la racine carrée de 2. Pour un courant d'aimantation sinusoïdal, cela définit la valeur correcte de crête de l'intensité du champ magnétique. Pour une induction magnétique sinusoïdale, cela définit une valeur de crête équivalente de l'intensité du champ magnétique, qui est numériquement inférieure pour un courant d'aimantation donné. Comme alternative, la valeur de crête du champ magnétique peut être déterminée au moyen d'un ampèremètre de valeur de crête ou un voltmètre de valeur de crête et une résistance de précision.

Avant la mesure, l'éprouvette doit être soigneusement désaimantée à partir d'une valeur d'intensité de champ non inférieure à dix fois le champ coercitif, en ramenant lentement la valeur correspondante du courant d'aimantation à zéro. La désaimantation doit être effectuée à la même fréquence ou à une fréquence plus basse que celle employée pour les mesures.

NOTE 4 For optimum power transfer, it may be necessary to optimize the number of turns of the magnetizing winding to match the output impedance of the power source. This can be determined from

$$Z = j\omega L \quad (4)$$

where

Z is the output impedance of the power source, in ohms;

ω is the angular frequency of the output of the power source, in radians per second;

L is the effective inductance of the magnetizing winding of the ring test specimen, in henrys, calculated from

$$L = \frac{N_1^2 A \mu_0 \mu_r}{\ell_m} \quad (5)$$

where

N_1 is the number of turns of the magnetizing winding;

A is the cross-sectional area of the test specimen, in square metres;

μ_0 is the magnetic constant ($= 4 \pi 10^{-7}$ henrys per metre);

μ_r is the relative permeability of the test specimen;

ℓ_m is the mean magnetic path length of the test specimen, in metres.

Where the relative magnetic permeability is not known, a preliminary measurement may need to be made of the magnetic field strength and magnetic flux density as described in 5.3 and 5.4 and the relative magnetic permeability calculated as described in 5.5.

5.3 Determination of magnetic field strength

The magnetic field strength at which the measurement is to be made is calculated from the following relationship:

$$H = \frac{N_1 I}{\ell_m} \quad (6)$$

where

H is the magnetic field strength, in amperes per metre;

N_1 is the number of turns of the magnetizing winding on the test specimen;

I is the magnetizing current, in amperes;

ℓ_m is the mean magnetic path length, in metres.

Normally the amplitude of the magnetic field strength is determined by measuring the r.m.s. magnetizing current and multiplying by the square root of 2. For sinusoidal magnetizing current, this defines the correct value of the peak magnetic field strength. For sinusoidal magnetic flux density, this defines an equivalent peak magnetic field strength, which is numerically lower for a given magnetizing current. As an alternative, the peak magnetic field strength can be determined using a peak reading ammeter or peak reading voltmeter and precision resistor.

Prior to measurement, the test specimen shall be carefully demagnetized from a value of field strength of not less than ten times the coercivity by slowly reducing the corresponding magnitude of the magnetizing current to zero. Demagnetization shall be carried out at the same or lower frequency as will be used for the measurements.

5.4 Détermination de l'induction magnétique

La tension secondaire doit être mesurée à l'aide du voltmètre de valeur moyenne V_1 et l'induction magnétique doit être calculée à partir de l'équation suivante:

$$\overline{|U_2|} = 4 f A \hat{B} N_2 \quad (7)$$

où

$\overline{|U_2|}$ est la valeur moyenne redressée de la tension secondaire induite, en volts;

f est la fréquence, en hertz;

$\hat{B}$ est la valeur de crête de l'induction magnétique, en teslas;

A est la section de l'éprouvette, en mètres carrés;

N_2 est le nombre de tours de l'enroulement secondaire.

Selon le niveau d'intensité du champ magnétique et le rapport des sections de l'éprouvette et de l'enroulement secondaire, il peut être nécessaire de faire une correction de l'induction magnétique pour le flux dans l'air se trouvant entre l'éprouvette et l'enroulement secondaire. La valeur corrigée, B , de l'induction magnétique est indiquée par la relation suivante:

$$B = B' - \mu_0 H \frac{(A' - A)}{A} \quad (8)$$

où

B' est la valeur mesurée de l'induction magnétique, en teslas;

μ_0 est la constante magnétique ($= 4 \pi 10^{-7}$ henrys par mètre);

H est l'intensité du champ magnétique, en ampères par mètre;

A' est la section à l'intérieur de l'enroulement secondaire, en mètres carrés;

A est la section de l'éprouvette, en mètres carrés.

5.5 Détermination de la perméabilité d'amplitude efficace et de la perméabilité d'amplitude relative

Pour les valeurs correspondantes d'intensité du champ magnétique et d'induction magnétique, la perméabilité d'amplitude efficace doit être calculée à partir de la relation suivante:

$$\mu_{a, rms} = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \sqrt{2} \tilde{H}} \quad (9)$$

et la perméabilité d'amplitude relative à partir de:

$$\mu_a = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \tilde{H}} \quad (10)$$

où

$\mu_{a, rms}$ est la perméabilité d'amplitude efficace (pour une induction magnétique sinusoïdale);

μ_a est la perméabilité d'amplitude relative (pour une intensité de champ magnétique sinusoïdale);

μ_0 est la constante magnétique ($= 4 \pi 10^{-7}$ henrys par mètre);

5.4 Determination of the magnetic flux density

The secondary voltage shall be measured using the average type voltmeter V_1 , and the magnetic flux density shall be calculated from the following equation:

$$\overline{|U_2|} = 4 f A \hat{B} N_2 \quad (7)$$

where

$\overline{|U_2|}$ is the average rectified value of the secondary voltage, in volts;

f is the frequency, in hertz;

$\hat{B}$ is the peak magnetic flux density, in teslas;

A is the cross-sectional area of the test specimen, in square metres;

N_2 is the number of turns of the secondary winding.

Depending on the level of magnetic field strength and the ratio of the cross-sectional area of the test specimen and secondary winding, it may be necessary to make a correction to the magnetic flux density for the air flux enclosed between the test specimen and the secondary winding. The corrected value, B , of the magnetic flux density is given by the following relationship:

$$B = B' - \mu_0 H \frac{(A' - A)}{A} \quad (8)$$

where

B' is the measured value of magnetic flux density, in teslas;

μ_0 is the magnetic constant ($= 4 \pi 10^{-7}$ henrys per metre);

H is the magnetic field strength, in amperes per metre;

A' is the cross-sectional area enclosed by the secondary winding, in square metres;

A is the cross-sectional area of the test specimen, in square metres.

5.5 Determination of the r.m.s. amplitude permeability and the relative amplitude permeability

For corresponding values of magnetic field strength and magnetic flux density, the r.m.s. amplitude permeability shall be calculated from the following relationship:

$$\mu_{a, \text{rms}} = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \sqrt{2} \tilde{H}} \quad (9)$$

and the relative amplitude permeability from:

$$\mu_a = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \tilde{H}} \quad (10)$$

where

$\mu_{a, \text{rms}}$ is the r.m.s. amplitude permeability (for sinusoidal magnetic flux density);

μ_a is the relative amplitude permeability (for sinusoidal magnetic field strength);

μ_0 is the magnetic constant ($= 4 \pi 10^{-7}$ henrys per metre);

- $\hat{B}$ est la valeur de crête de l'induction magnétique, en teslas;
 $\tilde{H}$ est la valeur efficace de l'intensité du champ magnétique, en ampères par mètre;
 $\hat{H}$ est la valeur de crête de l'intensité du champ magnétique, en ampères par mètre.

5.6 Détermination de la courbe d'aimantation

L'éprouvette doit être soigneusement désaimantée comme décrit en 5.3. En augmentant progressivement le courant d'aimantation, on peut obtenir des valeurs correspondantes d'intensité du champ magnétique et d'induction magnétique à partir desquelles une courbe d'aimantation peut être tracée.

6 Mesure de la perte totale spécifique par la méthode du wattmètre

6.1 Principe de la mesure

Le principe de la mesure est semblable à celui décrit dans la CEI 60404-2 sauf que le cadre d'Epstein est remplacé par l'éprouvette en forme d'anneau et que l'instrumentation permet de réaliser des mesures à la fréquence requise. La mesure de la perte totale spécifique doit être faite dans des conditions d'induction magnétique sinusoïdale. Pour certaines éprouvettes, cela peut exiger la maîtrise de la forme de l'onde du courant d'aimantation (voir Annexe B) au moyen de techniques analogiques ou numériques, pour s'assurer que l'induction magnétique sinusoïdale est maintenue. Les appareils et les enroulements de l'éprouvette doivent être connectés comme indiqué à la Figure 2.

NOTE Un choix de méthodes de mesure de la perte totale spécifique et de la perméabilité d'amplitude à niveaux élevés d'excitation, à des fréquences s'étendant pratiquement du courant continu à 10 MHz, voire à des fréquences plus élevées, est donné en 6.2 et 6.3 de la CEI 62044-3.

6.1.1 Voltmètre de valeur moyenne, V_1

La valeur moyenne redressée de la tension secondaire doit être mesurée à l'aide d'un voltmètre de valeur moyenne étalonné. La charge sur le circuit secondaire doit être aussi faible que possible (voir Annexe A). En conséquence, un voltmètre électronique avec une impédance d'entrée élevée est requis.

NOTE Des instruments de ce type sont habituellement gradués en valeur moyenne redressée multipliée par 1,111.

6.1.2 Voltmètre de valeur efficace, V_2

Un voltmètre étalonné sensible aux valeurs efficaces doit être utilisé. A nouveau, la charge sur le circuit secondaire doit être aussi faible que possible, un voltmètre électronique étant préférable (voir Annexe A).

6.1.3 Mesure de puissance

Un wattmètre étalonné approprié pour les circuits qui peuvent avoir un faible facteur de puissance ($\cos\phi$ jusqu'à 0,1). L'impédance d'entrée du circuit de tension doit être aussi élevée que possible (voir Annexe A).

6.1.4 Mesure de la perte totale spécifique

L'éprouvette doit être soigneusement désaimantée comme décrit en 5.3. Le courant dans l'enroulement d'aimantation N_1 doit être augmenté jusqu'à ce que la tension sur le voltmètre V_1 (indiquant la tension moyenne redressée) corresponde à l'induction magnétique exigée, calculée à partir de l'équation (7).

- $\hat{B}$ is the peak magnetic flux density, in teslas;
 $\tilde{H}$ is the r.m.s. value of the magnetic field strength, in amperes per metre;
 $\hat{H}$ is the peak value of the magnetic field strength, in amperes per metre.

5.6 Determination of magnetization curve

The test specimen shall be carefully demagnetized as described in 5.3. By successively increasing the magnetizing current, corresponding values of magnetic field strength and magnetic flux density can be obtained from which a magnetization curve can be plotted.

6 Measurement of specific total loss by the wattmeter method

6.1 Principle of measurement

The principle of measurement is similar to that described in IEC 60404-2 except that the Epstein frame is replaced by the ring test specimen and the instrumentation is capable of making measurements at the required frequency. The measurement of specific total loss shall be done under conditions of sinusoidal magnetic flux density. For some test specimens, this may require the control of the magnetizing current waveform (see Annex B) by means of analogue or digital techniques to ensure that sinusoidal magnetic flux density is maintained. The apparatus and the windings of the test specimen shall be connected as shown in Figure 2.

NOTE A selection of methods for the measurement of specific total loss and amplitude permeability at high excitation levels at frequencies ranging from practically d.c. to 10 MHz and even higher is given in 6.2 and 6.3 of IEC 62044-3.

6.1.1 Average type voltmeter, V_1

The average rectified value of the secondary voltage shall be measured using a calibrated average type voltmeter. The load on the secondary circuit shall be as small as possible (see Annex A). Consequently an electronic voltmeter with a high input impedance is required.

NOTE Instruments of this type are usually graduated in average rectified value multiplied by 1,111.

6.1.2 RMS voltmeter, V_2

A calibrated voltmeter responsive to r.m.s. values shall be used. Again, the load on the secondary circuit shall be as small as possible, an electronic voltmeter being preferred (see Annex A).

6.1.3 Power measurement

A calibrated wattmeter suitable for circuits which may have a low power factor ($\cos \phi$ down to 0,1). The input impedance of the voltage circuit shall be as high as possible (see Annex A).

6.1.4 Measurement of specific total loss

The test specimen shall be carefully demagnetized as described in 5.3. The current in the magnetizing winding N_1 shall be increased until the voltage on voltmeter V_1 (indicating average rectified voltage) corresponds to the required magnetic flux density calculated from equation (7).

Les lectures des deux voltmètres V_1 et V_2 doivent être enregistrées et le facteur de forme de la forme de l'onde secondaire doit être calculé et vérifié conformément à 5.2.1. La lecture du wattmètre doit être alors enregistrée.

6.1.5 Détermination de la perte totale spécifique

La puissance P_m mesurée par le wattmètre comprend la puissance consommée par les instruments du circuit secondaire, qui en première approximation est égale à $(1,111 \overline{|U_2|})^2 / R_i$ puisque la tension secondaire est essentiellement sinusoïdale.

Ainsi, la perte totale P_c de l'éprouvette doit être calculée selon l'équation suivante:

$$P_c = \frac{N_1}{N_2} P_m - \frac{(1,111 \overline{|U_2|})^2}{R_i} \quad (11)$$

où

P_c est la perte totale calculée de l'éprouvette, en watts;

P_m est la puissance mesurée par le wattmètre, en watts;

N_1 est le nombre de tours de l'enroulement d'aimantation;

N_2 est le nombre de tours de l'enroulement secondaire;

$\overline{|U_2|}$ est la valeur moyenne redressée de la tension secondaire, en volts;

R_i est la résistance équivalente combinée des instruments connectés à l'enroulement secondaire, en ohms.

La perte totale spécifique P_s doit être obtenue en divisant P_c par la masse de l'éprouvette. Par conséquent,

$$P_s = \frac{P_c}{m} \quad (12)$$

où

P_s est la perte totale spécifique de l'éprouvette, en watts par kilogramme;

m est la masse de l'éprouvette, en kilogrammes.

7 Mesure des propriétés magnétiques au moyen d'un pont d'impédance numérique

7.1 Principe de mesure

Des ponts d'impédance numériques (également connus sous le nom d'analyseurs d'impédance et dispositifs de mesure LCR) sont largement utilisés pour mesurer l'inductance et d'autres propriétés technologiques des composants magnétiques. Ces instruments peuvent être utilisés pour déterminer les propriétés magnétiques telles que la perméabilité d'inductance en courant alternatif et la perte totale spécifique, si l'on observe certaines restrictions. Cette méthode suppose que l'éprouvette en forme d'anneau est électriquement équivalente à la combinaison d'une inductance et d'une résistance en parallèle. La perméabilité d'inductance en courant alternatif est calculée à partir de l'inductance tandis que la perte totale spécifique est calculée à partir de la résistance.

NOTE 1 Des dispositifs de mesure LCR sont généralement utilisés pour des mesures comparatives seulement.

The readings of the two voltmeters V_1 and V_2 shall be recorded and the form factor of the secondary waveform shall be calculated and verified in accordance with 5.2.1. The wattmeter reading shall then be recorded.

6.1.5 Determination of the specific total loss

The power P_m measured by the wattmeter includes the power consumed by the instruments in the secondary circuit, which to a first approximation is equal to $(1,111\overline{|U_2|})^2/R_i$ since the secondary voltage is essentially sinusoidal.

Thus, the total loss P_c of the test specimen shall be calculated in accordance with the equation

$$P_c = \frac{N_1}{N_2} P_m - \frac{(1,111\overline{|U_2|})^2}{R_i} \quad (11)$$

where

- P_c is the calculated total loss of the test specimen, in watts;
- P_m is the power measured by the wattmeter, in watts;
- N_1 is the number of turns of the magnetizing winding;
- N_2 is the number of turns of the secondary winding;
- $\overline{|U_2|}$ is the average rectified value of the secondary voltage, in volts;
- R_i is the combined equivalent resistance of the instruments connected to the secondary winding, in ohms.

The specific total loss P_s shall be obtained by dividing P_c by the mass of the test specimen. Hence,

$$P_s = \frac{P_c}{m} \quad (12)$$

where

- P_s is the specific total loss of the test specimen, in watts per kilogram;
- m is the mass of the test specimen, in kilograms.

7 Measurement of magnetic properties using a digital impedance bridge

7.1 Principle of measurement

Digital impedance bridges (also known as impedance analyzers and LCR meters) are widely used to measure the inductance and other technological properties of magnetic components. These instruments can be used to determine magnetic properties such as the a.c. inductance permeability and specific total loss, provided certain restrictions are observed. This method assumes that the ring test specimen is electrically equivalent to a parallel combination of an inductance and a resistance. The a.c. inductance permeability is computed from the inductance while the specific total loss is computed from the resistance.

NOTE 1 LCR meters are generally used for comparative measurements only.

NOTE 2 La perméabilité d'inductance en courant alternatif est la perméabilité déterminée à partir du composant inductif mesuré de l'impédance du circuit électrique par lequel l'éprouvette magnétique – dans des conditions où l'induction magnétique varie de manière sinusoïdale en fonction du temps avec une valeur moyenne de zéro – est représentée par le composant inductif en parallèle avec un composant résistif.

Les essais selon cette méthode doivent être limités à la région linéaire initiale de la courbe d'aimantation où les conditions d'induction magnétique et d'intensité de champ magnétique sinusoïdales prévalent. L'éprouvette doit être préparée selon 3.1. Un enroulement simple (N_1) d'un nombre suffisant de tours pour maintenir l'induction magnétique sinusoïdale doit être appliqué.

7.2 Appareillage

L'appareillage d'essai est illustré par la Figure 3 et est constitué des composants indiqués.

7.2.1 Pont d'impédance numérique

Le pont d'impédance numérique étalonné doit avoir la configuration de type à 4 fils Kelvin et doit être configuré pour mesurer l'inductance parallèle (L_p) et la résistance parallèle (R_p). L'impédance de sortie de la source du signal doit être suffisamment faible pour assurer qu'une induction magnétique sinusoïdale est obtenue dans le noyau d'essai. Le pont doit permettre de compenser (annuler) l'impédance des câbles de raccordement entre l'instrument et l'éprouvette.

7.2.2 Ampèremètre de valeur efficace vraie

Un ampèremètre de valeur efficace vraie, étalonné, doit être utilisé pour mesurer le courant d'aimantation. Le courant d'aimantation peut également être mesuré en branchant une résistance de précision non inductive, en série avec l'enroulement d'aimantation et en mesurant la tension à travers un voltmètre de valeur efficace étalonné. La prescription d'un dispositif séparé n'est pas applicable si le dispositif numérique de mesure d'impédance comporte un ampèremètre interne ou si l'exactitude du réglage de la source du signal a été vérifiée indépendamment.

7.2.3 Voltmètre de valeur moyenne

La valeur moyenne redressée de la tension secondaire doit être mesurée à l'aide d'un voltmètre de valeur moyenne étalonné à forte impédance d'entrée (typiquement $>1\text{ M}\Omega$ en parallèle avec 90 pF à 150 pF).

NOTE Des instruments de ce type sont habituellement gradués en valeur moyenne redressée multipliée par 1,111.

7.2.4 Voltmètre de valeur efficace

Un voltmètre étalonné à forte impédance d'entrée (typiquement $>1\text{ M}\Omega$ en parallèle avec 90 pF à 150 pF) sensible aux valeurs efficaces doit être utilisé.

7.3 Mode opératoire

Avant la mesure, le dispositif doit être mis à zéro selon les instructions du fabricant pour compenser l'impédance des câbles d'essai. Lors des essais à haute fréquence, il est souhaitable d'éliminer l'impédance due à l'enroulement. Cela peut être fait en reliant le dispositif de mesure à un noyau non magnétique de mêmes dimensions que l'éprouvette et ayant le même nombre de tours dans l'enroulement.

Après raccordement de l'éprouvette au dispositif de mesure, l'éprouvette doit être désaimantée en utilisant soit la source du signal du dispositif de mesure soit une source extérieure. Il convient que les essais soient effectués à des valeurs croissantes du courant d'aimantation (intensité du champ magnétique) ou de l'induction magnétique. La relation entre l'intensité du champ magnétique et le courant d'aimantation est donnée par l'équation (7),

NOTE 2 AC inductance permeability is the permeability determined from the measured inductive component of the impedance of the electrical circuit whereby the magnetic test specimen – under conditions where the magnetic flux density is varying sinusoidally with time with an average value of zero – is represented by the inductive component in parallel with a resistive component.

Testing according to this method shall be restricted to the initial linear region of the magnetization curve where sinusoidal magnetic flux density and magnetic field strength conditions prevail. The test specimen shall be prepared according to 3.1. A single winding (N_1) of sufficient number of turns to maintain sinusoidal magnetic flux density shall be applied.

7.2 Apparatus

The test apparatus is illustrated in Figure 3 and consists of the components shown.

7.2.1 Digital impedance bridge

The calibrated digital impedance bridge shall be of the 4-wire Kelvin type configuration and shall be configured to measure the parallel inductance (L_p) and parallel resistance (R_p). The signal source output impedance shall be sufficiently low as to ensure sinusoidal magnetic flux density is obtained in the test core. The bridge shall have the capability of compensating (nulling) the impedance of the connecting leads between the instrument and test specimen.

7.2.2 True r.m.s. ammeter

A calibrated true r.m.s. ammeter shall be used to measure the magnetizing current. The magnetizing current can also be measured by connecting a non-inductive precision resistor in series with the magnetizing winding and measuring the voltage across it with a calibrated r.m.s. voltmeter. The requirement for a separate meter is waived if the digital impedance meter has an internal ammeter or if the setting accuracy of the signal source has been independently verified.

7.2.3 Average type voltmeter

The average rectified value of the secondary voltage shall be measured using a high input impedance (typically $>1\text{ M}\Omega$ in parallel with 90 pF to 150 pF) calibrated average type voltmeter.

NOTE Instruments of this type are usually graduated in average rectified value multiplied by 1,111.

7.2.4 RMS voltmeter

A calibrated high input impedance (typically $>1\text{ M}\Omega$ in parallel with 90 pF to 150 pF) voltmeter responsive to r.m.s. values shall be used.

7.3 Procedure

Prior to measurement, the meter shall be nulled according to the manufacturer's instructions to compensate for the impedance of the test leads. When testing at high frequency, it is desirable to eliminate the impedance due to the winding. This can be done by connecting the meter to a non-magnetic core of the same dimensions as the test specimen and having the same number of winding turns.

After connection of the test specimen to the meter, the specimen shall be demagnetized using either the meter's signal source or an external source. Testing should be conducted either at increasing values of magnetizing current (magnetic field strength) or magnetic flux density. The relationship between magnetic field strength and magnetizing current is given by equation (7),

alors que la relation entre l'induction magnétique et la tension induite dans l'enroulement est donnée par l'équation (8). Le facteur de forme de la tension induite dans l'enroulement doit être déterminé en utilisant les tensions obtenues à partir des voltmètres V_1 et V_2 . Les inductances et les résistances mesurées doivent être enregistrées manuellement ou par des moyens électroniques.

Il n'est pas toujours possible d'obtenir exactement la valeur requise du courant d'aimantation ou de l'induction à l'aide d'instruments à commande numérique. L'interpolation des données est nécessaire dans ces circonstances et est autorisée pour cette méthode.

7.4 Détermination de la perméabilité relative d'inductance en courant alternatif

La perméabilité relative d'inductance en courant alternatif de l'éprouvette est alors calculée à partir de

$$\mu_p = \frac{L_p \ell_m}{N_1^2 A \mu_0} \quad (13)$$

où

- μ_p est la perméabilité relative d'inductance en courant alternatif;
- L_p est l'inductance en parallèle mesurée, en henrys;
- ℓ_m est la longueur moyenne du circuit magnétique de l'éprouvette, en mètres;
- N_1 est le nombre de tours de l'enroulement;
- A est la section de l'éprouvette, en mètres carrés;
- μ_0 est la constante magnétique ($= 4 \pi 10^{-7}$ henrys par mètre).

7.5 Détermination de la perte totale spécifique

La perte totale spécifique peut être calculée à partir de la résistance en parallèle mesurée comme suit:

$$P_s = \frac{(1,111 \overline{U_2})^2}{m} \left(\frac{1}{R_p} - \left(\frac{1}{R_p^2} + \frac{1}{\omega^2 L_p^2} \right) R_w \right)^{14}$$

où

- P_s est la perte totale spécifique de l'éprouvette, en watts par kilogramme;
- $\overline{U_2}$ est la valeur moyenne redressée de la tension secondaire, en volts;
- m est la masse de l'éprouvette, en kilogrammes;
- R_p est la résistance en parallèle mesurée, en ohms;
- R_w est la résistance de l'enroulement primaire, en ohms (voir aussi Annexe A);
- L_p est l'inductance en parallèle mesurée, en henrys;
- ω est la fréquence angulaire, en radians par seconde.

8 Mesure des propriétés magnétiques au moyen de méthodes numériques

8.1 Introduction

Les mesures sont faites en utilisant la méthode du tore, la fréquence supérieure étant limitée par la performance du dispositif de mesure de tension et par la performance en fréquence de la résistance de précision non inductive, en série avec l'enroulement d'aimantation pour déterminer le courant d'aimantation.

while the relationship between magnetic flux density and voltage induced in the winding is given by equation (8). The form factor of the voltage induced in the winding shall be determined using the voltages obtained from voltmeters V_1 and V_2 . The measured inductances and resistances shall be recorded either manually or by electronic means.

It is not always possible to obtain exactly the required magnetizing current or flux density using digitally controlled instruments. Interpolation of data is necessary in these instances and is permitted by this method.

7.4 Determination of the relative a.c. inductance permeability

The relative a.c. inductance permeability of the test specimen is then calculated from

$$\mu_p = \frac{L_p \ell_m}{N_1^2 A \mu_0} \quad (13)$$

where

- μ_p is the relative a.c. inductance permeability;
- L_p is the measured parallel inductance, in henrys;
- ℓ_m is the mean magnetic path length of the test specimen, in metres;
- N_1 is the number of turns of the winding;
- A is the cross-sectional area of the test specimen, in square metres;
- μ_0 is the magnetic constant ($= 4 \pi 10^{-7}$ henrys per metre).

7.5 Determination of the specific total loss

The specific total loss can be calculated from the measured parallel resistance as follows:

$$P_s = \frac{\left(\frac{1}{m} \left(\frac{1}{R_p} - \left(\frac{1}{R_p^2} + \frac{1}{\omega^2 L_p^2} \right) R_w \right) \right)^2}{1} \quad (14)$$

where

- P_s is the specific total loss of the test specimen, in watts per kilogram;
- $\overline{U_2}$ is the average rectified value of the secondary voltage, in volts;
- m is the mass of the test specimen, in kilograms;
- R_p is the measured parallel resistance, in ohms;
- R_w is the resistance of the primary winding, in ohms (see also Annex A);
- L_p is the measured parallel inductance, in henrys;
- ω is the angular frequency, in radians per second.

8 Measurement of magnetic properties using digital methods

8.1 Introduction

The measurements are made using the ring method, the upper frequency being limited by the performance of the voltage measuring device and the frequency performance of the non-inductive precision resistor in series with the magnetizing winding to determine the magnetizing current.

8.2 Appareils et branchements

Les enroulements de l'éprouvette en forme d'anneau doivent être connectés comme indiqué à la Figure 4.

La source de courant alternatif doit présenter une variation de tension et une variation de fréquence à sa sortie n'excédant pas pour chacune $\pm 0,2\%$ de la valeur ajustée pendant la mesure. Elle doit être branchée en série à l'enroulement d'aimantation N_1 sur l'éprouvette en forme d'anneau et à une résistance non inductive de précision sur laquelle est branché un convertisseur de tension analogique/numérique (A/N), V_1 .

Le circuit secondaire comporte un enroulement secondaire N_2 connecté à un convertisseur de tension analogique/numérique, V_2 .

NOTE La résolution du convertisseur de tension analogique/numérique doit être suffisante. Il convient que la vitesse d'échantillonnage de l'appareillage de mesure utilisé garantisse un nombre suffisant d'échantillons par période. Il faut que l'échantillonnage de chaque paire de valeurs soit fait simultanément (pour des détails, voir les publications sur le traitement des signaux numériques).

8.3 Forme de l'onde du courant d'aimantation

Afin d'obtenir des mesures comparables, on doit convenir avant les mesures que la forme de l'onde de la tension secondaire ou la forme de l'onde du courant d'aimantation doit être maintenue sinusoïdale avec un facteur de forme de $1,111 \pm 1\%$.

NOTE Pour produire une bonne forme d'onde de tension secondaire ou de courant d'aimantation, il peut être nécessaire d'optimiser le nombre de tours de l'enroulement d'aimantation pour être compatible avec l'impédance de sortie de la source d'énergie. Cela peut être déterminé à partir des conditions données dans les équations (4) et (5).

8.4 Enroulement d'aimantation

Les prescriptions de 3.2 et l'Annexe A doivent être respectées.

8.5 Détermination de l'intensité du champ magnétique

L'intensité du champ magnétique à laquelle la mesure doit être faite est calculée à partir de la relation suivante:

$$H(t) = \frac{N_1}{R\ell_m} U_1(t) \quad (15)$$

où

$H(t)$ est l'intensité du champ magnétique à un instant t , en ampères par mètre;

N_1 est le nombre de tours de l'enroulement d'aimantation;

$U_1(t)$ est la tension à un instant t , aux bornes de la résistance non inductive de précision pour déterminer le courant d'aimantation, en volts;

ℓ_m est la longueur moyenne du circuit magnétique, en mètres;

R est la résistance de la résistance de précision non inductive en série avec l'enroulement d'aimantation pour déterminer le courant d'aimantation, en ohms.

Avec les valeurs discrètes pour la tension U_1 , l'intensité du champ magnétique est calculée comme suit:

$$H_i = \frac{N_1}{R\ell_m} U_{1i} \quad (16)$$

8.2 Apparatus and connections

The windings of the ring test specimen shall be connected as shown in Figure 4.

The source of alternating current shall have a variation of voltage and frequency at its output individually not exceeding $\pm 0,2\%$ of the adjusted value during the measurement. It shall be connected in series with the magnetizing winding N_1 on the ring test specimen and a non-inductive precision resistor across which is a calibrated voltage analogue to digital converter (A/D), V_1 .

The secondary circuit comprises a secondary winding N_2 connected to a voltage analogue/digital converter, V_2 .

NOTE The resolution of the voltage analogue/digital converter shall be sufficient. The sampling rate of the measuring equipment used should guarantee a sufficient number of samples per period. The sampling of each pair of values must be made simultaneously (for details, see publications on digital signals processing).

8.3 Magnetizing current waveform

In order to obtain comparable measurements, it shall be agreed prior to the measurements that either the waveform of the secondary voltage or the waveform of the magnetizing current shall be maintained sinusoidal with a form factor of $1,111 \pm 1\%$.

NOTE To produce a good waveform of secondary voltage or magnetizing current it may be necessary to optimise the number of turns of the magnetizing winding to match the output impedance of the power source. This can be determined from conditions given in equations (4) and (5).

8.4 Magnetizing winding

The requirements of 3.2 and Annex A shall be met.

8.5 Determination of the magnetic field strength

The magnetic field strength at which the measurement is to be made is calculated from the following relationship:

$$H(t) = \frac{N_1}{R\ell_m} U_1(t) \quad (15)$$

where

$H(t)$ is the magnetic field strength at a time t , in amperes per metre;

N_1 is the number of turns of the magnetizing winding;

$U_1(t)$ is the voltage at a time t across the non-inductive precision resistor to determine the magnetizing current, in volts;

ℓ_m is the mean magnetic path length, in metres;

R is the resistance of the non-inductive precision resistor in series with the magnetizing winding to determine the magnetizing current, in ohms.

With the discrete values for voltage U_1 , the magnetic field strength is calculated as follows:

$$H_i = \frac{N_1}{R\ell_m} U_{1i} \quad (16)$$

où

H_i est la valeur discrète de l'intensité du champ magnétique, en ampères par mètre;

U_{1i} est la valeur discrète de la tension à travers la résistance de précision non inductive pour déterminer le courant d'aimantation, en volts.

8.6 Détermination de l'induction magnétique

La tension secondaire doit être mesurée en utilisant un convertisseur de tension analogique/numérique et l'induction magnétique doit être calculée à partir de l'équation suivante:

$$B(t) = -\frac{1}{N_2 A} \int_0^t U_2(t) dt + K \quad (17)$$

où

$B(t)$ est l'induction magnétique à un instant t , en teslas;

N_2 est le nombre de tours de l'enroulement secondaire;

$U_2(t)$ est la tension secondaire à un instant t , en volts;

A est la section de l'éprouvette, en mètres carrés;

K est tel que la moyenne de temps de $B(t)$ est zéro.

8.7 Détermination de la perméabilité relative en courant alternatif

Pour des valeurs correspondantes de l'intensité du champ magnétique et de l'induction, la perméabilité magnétique relative en courant alternatif doit être calculée à partir de la relation suivante:

$$\mu_a = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \hat{H}} \quad (18)$$

où

μ_a est la perméabilité relative en courant alternatif;

μ_0 est la constante magnétique ($4 \mu 10^{-7}$ henrys par mètre);

$\hat{B}$ est la valeur de crête de l'induction magnétique, en teslas;

$\hat{H}$ est la valeur de crête de l'intensité du champ magnétique, en ampères par mètre.

8.8 Détermination de la courbe d'aimantation en courant alternatif

L'éprouvette doit être soigneusement désaimantée. En augmentant progressivement le courant d'aimantation, on peut obtenir des valeurs correspondantes de l'intensité maximale du champ magnétique et l'induction magnétique maximale à partir desquelles une courbe d'aimantation en courant alternatif peut être tracée.

8.9 Détermination de la perte totale spécifique

La perte totale spécifique P_s correspond au secteur du cycle d'hystérésis qui peut être construit avec les valeurs respectives de B et de H .

where

H_i is the discrete magnetic field strength, in amperes per metre;

U_{1_i} is the discrete voltage across the non-inductive precision resistor to determine the magnetizing current, in volts.

8.6 Determination of the magnetic flux density

The secondary voltage shall be measured using a calibrated voltage analogue/digital converter and the magnetic flux density shall be calculated from the following equation:

$$B(t) = -\frac{1}{N_2 A} \int_0^t U_2(t) dt + K \quad (17)$$

where

$B(t)$ is the magnetic flux density at a time t , in teslas;

N_2 is the number of turns of the secondary winding;

$U_2(t)$ is the secondary voltage at a time t , in volts;

A is the cross-sectional area of the test specimen, in square metres;

K is such that the time average of $B(t)$ is zero.

8.7 Determination of the relative a.c. permeability

For corresponding values of magnetic field strength and magnetic flux density, the relative a.c. permeability shall be calculated from the following relationship:

$$\mu_a = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \hat{H}} \quad (18)$$

where

μ_a is the relative a.c. permeability;

μ_0 is the magnetic constant ($4 \pi 10^{-7}$ henrys per metre);

$\hat{B}$ is the peak magnetic flux density, in teslas;

$\hat{H}$ is the peak value of the magnetic field strength, in amperes per metre.

8.8 Determination of a.c. magnetization curve

The test specimen shall be carefully demagnetized. By successively increasing the magnetizing current, corresponding values of maximum magnetic field strength and maximum magnetic flux density can be obtained from which an a.c. magnetization curve can be plotted.

8.9 Determination of the specific total loss

The specific total loss P_s corresponds to the area of the hysteresis loop which can be constructed by the respective values for B and H .

Ainsi, la perte totale spécifique P_s de l'éprouvette doit être calculée selon l'équation suivante:

$$P_s = \frac{f N_1}{N_2 m R} \int_{t=0}^T U_1(t) U_2(t) dt \quad (19)$$

où

- P_s est la perte totale spécifique de l'éprouvette, en watts par kilogramme;
- f est la fréquence, en hertz;
- N_1 est le nombre de tours de l'enroulement d'aimantation;
- N_2 est le nombre de tours de l'enroulement secondaire;
- m est la masse de l'éprouvette, en kilogrammes;
- R est la résistance de la résistance de précision non inductive en série avec l'enroulement d'aimantation employée pour déterminer le courant d'aimantation, en ohms;
- T est la période où $T = 1/f$, en secondes;
- $U_1(t)$ est la tension à un instant t , aux bornes de la résistance non inductive de précision utilisée pour déterminer le courant d'aimantation, en volts;
- $U_2(t)$ est la tension secondaire à un instant t , en volts.

9 Incertitudes

Les différentes contributions à l'incertitude d'une mesure particulière doivent être identifiées et alors combinées selon les indications présentées dans le Guide ISO/CEI relatif à l'expression de l'incertitude de mesure.

10 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir, selon les besoins

- a) le type et le numéro de série ou la marque de l'éprouvette;
- b) le nombre d'enroulements et le nombre de tours de l'éprouvette;
- c) la masse et les dimensions de l'éprouvette et, pour les matériaux minces, la masse volumique;
- d) la fréquence;
- e) la méthode d'essai employée;
- f) la température ambiante;
- g) la température de surface de l'éprouvette;
- h) le temps écoulé entre l'aimantation et la réalisation des mesures;
- i) la nature de la forme de l'onde: onde sinusoïdale de tension secondaire ou onde sinusoïdale du courant d'aimantation;
- j) la méthode pour déterminer l'intensité de crête;
- k) les quantités mesurées et leurs incertitudes.

Thus, the specific total loss P_s of the specimen shall be calculated in accordance with the following equation:

$$P_s = \frac{fN_1}{N_2mR} \int_{t=0}^T U_1(t)U_2(t)dt \quad (19)$$

where

- P_s is the specific total loss of the test specimen, in watts per kilogram;
- f is the frequency, in hertz;
- N_1 is the number of turns of the magnetizing winding;
- N_2 is the number of turns of the secondary winding;
- m is the mass of the test specimen, in kilograms;
- R is the resistance of the non-inductive precision resistor in series with the magnetizing winding used to determine the magnetizing current, in ohms;
- T is the period where $T = 1/f$, in seconds;
- $U_1(t)$ is the voltage at a time t across the non-inductive precision resistor to determine the magnetizing current, in volts;
- $U_2(t)$ is the secondary voltage at a time t , in volts.

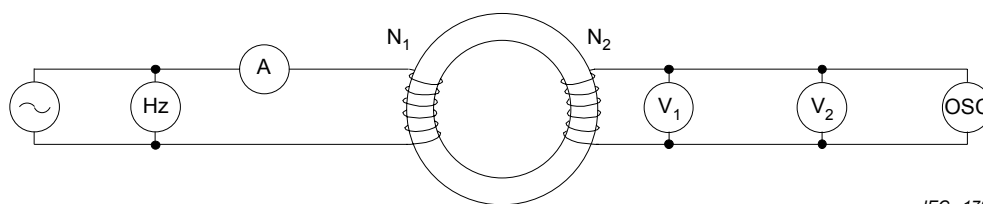
9 Uncertainties

The individual contributions to the uncertainty of a particular measurement shall be identified and then combined in accordance with the guidelines set out in the ISO/IEC Guide to the expression of uncertainty in measurement.

10 Test report

The test report shall contain as necessary

- a) the type and serial number or mark of the test specimen;
- b) the number of windings and turns on the test specimen;
- c) the mass and dimensions of the test specimen and, for thin material, the density;
- d) the frequency;
- e) the test method used;
- f) the ambient temperature;
- g) the surface temperature of the test specimen;
- h) the time lapse between magnetization and making measurements;
- i) the nature of the waveform: sinewave of secondary voltage or sinewave of magnetizing current;
- j) the method for determining the peak current;
- k) the quantities measured and their uncertainties.



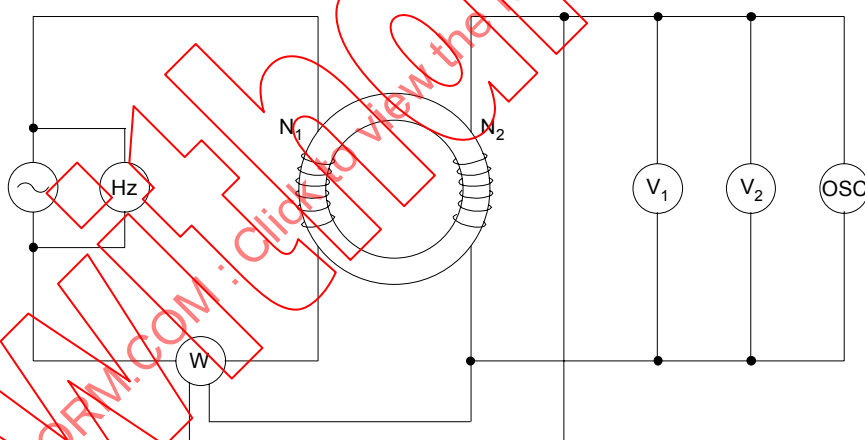
IEC 1725/03

Légende

- ~ source de courant (habituellement un oscillateur et un amplificateur de puissance)
- A ampèremètre de valeur efficace vraie ou ampèremètre de valeur de crête ou voltmètre de valeur efficace vraie ou voltmètre de valeur de crête et résistance de précision pour mesurer le courant d'aimantation
- Hz fréquencesmètre
- N_1 enroulement d'aimantation
- N_2 enroulement secondaire
- Osc oscilloscope
- V_1 voltmètre de valeur moyenne
- V_2 voltmètre de valeur efficace

NOTE Lors de la réalisation des mesures de courant sinusoïdal, il convient qu'une résistance non inductive soit reliée en série à l'enroulement d'aimantation pour garantir que la résistance du circuit d'aimantation est au moins dix fois plus grande que l'inductance de l'éprouvette.

Figure 1 – Circuit de la méthode du tore



IEC 1726/03

Légende

- ~ source de courant (habituellement un oscillateur et un amplificateur de puissance)
- Hz fréquencesmètre
- N_1 enroulement d'aimantation
- N_2 enroulement secondaire
- Osc oscilloscope
- W wattmètre
- V_1 voltmètre de valeur moyenne
- V_2 voltmètre de valeur efficace

Figure 2 – Circuit de la méthode du wattmètre