

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62044-3

Première édition
First edition
2000-12

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

**Partie 3:
Propriétés magnétiques à niveau élevé d'excitation**

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

**Part 3:
Magnetic properties at high excitation level**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 62044-3:2000

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 (www.iec.ch/catlg-f.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 (www.iec.ch/JP.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 (www.iec.ch/catlg-e.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 (www.iec.ch/JP.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**

62044-3

Première édition
First edition
2000-12

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

**Partie 3:
Propriétés magnétiques à niveau élevé d'excitation**

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

**Part 3:
Magnetic properties at high excitation level**

© IEC 2000 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives.....	8
3 Termes, définitions et symboles	10
3.1 Définitions.....	10
3.2 Symboles	12
4 Précautions générales pour les mesures à niveau élevé d'excitation	14
4.1 Indications générales	14
4.2 Bobine de mesure	14
4.3 Montage des noyaux constitués de plus d'une partie.....	16
4.4 Matériel de mesure	18
5 Spécimens	22
6 Procédures de mesure	22
6.1 Procédure générale.....	22
6.2 Méthode de mesure pour la perméabilité d'amplitude (effective)	24
6.3 Méthodes de mesure pour la perte de puissance	28
7 Informations à indiquer.....	32
8 Rapport d'essai	34
Annexe A (informative) Circuits de base et équipement lié pour la mesure de la perméabilité d'amplitude.....	36
Annexe B (informative) Méthode efficace pour la mesure de la perte de puissance – Exemple d'un circuit et procédure liée.....	40
Annexe C (informative) Méthodes de multiplication pour la mesure de la perte de puissance – Circuit de base et procédures de mesure liées.....	46
Annexe D (informative) Méthode par réflexion pour la mesure de la perte de puissance – Circuit de base et procédures de mesure liées	54
Annexe E (informative) Méthodes par mesure calorimétrique pour la mesure de la perte de puissance.....	58

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Terms, definitions and symbols	11
3.1 Definitions	11
3.2 Symbols	13
4 General precautions for measurements at high excitation level	15
4.1 General statements	15
4.2 Measuring coil	15
4.3 Mounting of cores consisting of more than one part	17
4.4 Measuring equipment	19
5 Specimens	23
6 Measuring procedures	23
6.1 General procedure	23
6.2 Measuring method for the (effective) amplitude permeability	25
6.3 Measuring methods for the power loss	29
7 Information to be stated	33
8 Test report	35
Annex A (informative) Basic circuits and related equipment for the measurement of amplitude permeability	37
Annex B (informative) Root-mean-square method for the measurement of power loss – Example of a circuit and related procedure	41
Annex C (informative) Multiplying methods for the measurement of power loss – Basic circuits and related measurement procedures	47
Annex D (informative) Reflection method for the measurement of power loss – Basic circuit and related measurement procedures	55
Annex E (informative) Calorimetric measurement methods for the measurement of power loss	59

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

NOYAUX EN MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES DOUX – MÉTHODES DE MESURE –

Partie 3: Propriétés magnétiques à niveau élevé d'excitation

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 62044-3 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
51/573/FDIS	51/583/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 3.

Les annexes A, B, C, D et E sont données uniquement à titre d'information.

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

Partie 1: Spécification générique (à l'étude)

Partie 2: Propriétés magnétiques à faible niveau d'excitation (à l'étude)

Partie 3: Propriétés magnétiques à niveau élevé d'excitation

Partie 4: Propriétés non magnétiques (à l'étude)

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CORES MADE OF SOFT MAGNETIC MATERIALS –
MEASURING METHODS –****Part 3: Magnetic properties at high excitation level**

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 62044-3 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
51/573/FDIS	51/583/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 3.

Annexes A, B, C, D, and E are for information only.

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

Part 1: Generic specification (under consideration)

Part 2: Magnetic properties at low excitation level (under consideration)

Part 3: Magnetic properties at high excitation level

Part 4: Non-magnetic properties (under consideration)

La présente partie 3 est publiée la première. La CEI 60367-1 et la CEI 60367-2 seront annulées lorsque les parties 1, 2 et 3 de la CEI 62044 auront été publiées.

Cette norme annule et remplace 11.2 et l'annexe J de la CEI 60367-1. Les articles restants de la CEI 60367-1 seront remplacés par la CEI 62044-1 et la CEI 62044-2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2006. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2000

Part 3 is the first to be published. IEC 60367-1 and IEC 60367-2 will be cancelled after parts 1, 2 and 3 of IEC 62044 are published.

This standard cancels and replaces 11.2 and annex J of IEC 60367-1. The remaining clauses of IEC 60367-1 will be replaced by IEC 62044-1 and IEC 62044-2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2006. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2000

NOYAUX EN MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES DOUX – MÉTHODES DE MESURE –

Partie 3: Propriétés magnétiques à niveau élevé d'excitation

1 Domaine d'application

La présente norme donne les méthodes de mesure de la perte de puissance et de la perméabilité d'amplitude des noyaux magnétiques formant les circuits magnétiques fermés destinés à être utilisés à des niveaux élevés d'excitation dans les bobines d'inductance, les bobines d'arrêt, les transformateurs et les dispositifs similaires pour les applications d'électronique de puissance.

Les méthodes contenues dans cette norme peuvent couvrir les mesures des propriétés magnétiques pour des fréquences allant dans la pratique de c.c. à 10 MHz et même éventuellement au-delà pour les méthodes calorimétrique et par réflexion. L'applicabilité des différentes méthodes à des gammes de fréquences spécifiques dépend du niveau de précision à obtenir.

Les méthodes de la présente norme sont fondamentalement les mieux adaptées aux excitations sinusoïdales. D'autres formes d'ondes périodiques peuvent également être utilisées; cependant, une précision appropriée est seulement obtenue si les circuits et les instruments de mesure utilisés sont capables de prendre en compte et de traiter les amplitudes et les phases des signaux concernés dans le spectre de fréquences correspondant à l'induction indiquée et aux formes d'ondes de champ magnétique avec une précision à peine dégradée.

NOTE Pour certains matériaux métalliques magnétiques doux, il peut être nécessaire de suivre des principes généraux spécifiques et normaux pour ces matériaux liés à la préparation des spécimens et des calculs prescrits. Ces principes sont donnés dans la CEI 60404-8-6.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 62044. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 62044 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60050(221):1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 221: Matériaux et composants magnétiques*
Amendement 1 (1993)
Amendement 2 (1999)

CEI 60205:1966, *Calcul des paramètres effectifs des pièces ferromagnétiques*

CEI 60367-1:1982, *Noyaux pour bobines d'inductance et transformateurs destinés aux télécommunications – Première partie: Méthodes de mesure*

CEI 60401:1993, *Matériaux ferrites – Guide relatif au format des données figurant dans les catalogues des fabricants de noyaux pour transformateurs et bobines d'inductance*

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

CEI 61332:1995, *Classification des matériaux ferrites doux*

CORES MADE OF SOFT MAGNETIC MATERIALS – MEASURING METHODS –

Part 3: Magnetic properties at high excitation level

1 Scope

This standard provides measuring methods for power loss and amplitude permeability of magnetic cores forming the closed magnetic circuits intended for use at high excitation levels in inductors, chokes, transformers and similar devices for power electronics applications.

The methods given in this standard can cover the measurement of magnetic properties for frequencies ranging practically from d.c. to 10 MHz, and even possibly higher, for the calorimetric and reflection methods. The applicability of the individual methods to specific frequency ranges is dependent on the level of accuracy that is to be obtained.

The methods in this standard are basically the most suitable for sine-wave excitations. Other periodic waveforms can also be used; however, adequate accuracy can only be obtained if the measuring circuitry and instruments used are able to handle and process the amplitudes and phases of the signals involved within the frequency spectrum corresponding to the given induction and field strength waveforms with only slightly degraded accuracy.

NOTE It may be necessary for some magnetically soft metallic materials to follow specific general principles, customary for these materials, related to the preparation of specimens and prescribed calculations. These principles are formulated in IEC 60404-8-6.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 62044. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 62044 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60050(221):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 221: Magnetic materials and components*

Amendment 1 (1993)

Amendment 2 (1999)

IEC 60205:1966, *Calculation of the effective parameters of magnetic piece parts*

IEC 60367-1:1982, *Cores for inductors and transformers for telecommunications – Part 1: Measuring methods*

IEC 60401:1993, *Ferrite materials – Guide on the format of data appearing in manufacturers' catalogues of transformer and inductor cores*

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

IEC 61332:1995, *Soft ferrite material classification*

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions de la CEI 60050(221) ainsi que les suivantes s'appliquent.

3.1.1

perméabilité d'amplitude (effective) (symboles: perméabilité d'amplitude: μ_a , perméabilité d'amplitude effective: μ_{ea})

perméabilité magnétique obtenue à partir de la valeur de crête de l'induction magnétique effective, $\hat{B}_e$, et de la valeur de crête du champ magnétique, $\hat{H}_e$, pour des valeurs données de l'une ou de l'autre valeur, lorsque l'induction magnétique et le champ magnétique varient périodiquement en fonction du temps avec une valeur moyenne nulle, le matériau étant initialement dans un état magnétique neutre spécifié

NOTE 1 Cette définition diffère de celle de la CEI 60050 [221-03-07].

NOTE 2 Deux perméabilités d'amplitude sont d'usage courant, à savoir:

- celle pour laquelle les valeurs de crête sont celles des grandeurs réelles d'induction et de champ magnétique,
- celle pour laquelle les valeurs de crête sont celles des composantes fondamentales d'induction et de champ magnétique.

NOTE 3 A la limite, l'induction et le champ magnétique, et par conséquent, la perméabilité d'amplitude peuvent être des valeurs quasi statiques, dans la mesure où le noyau est magnétisé de manière cyclique et qu'il n'y a pas de déviation de la courbe B-H.

3.1.2

perméabilité d'amplitude effective maximale (symbole: $\mu_{ea \max}$)

valeur maximale de la perméabilité d'amplitude (effective) lorsqu'on fait varier l'amplitude d'excitation ($\hat{B}_e$ ou $\hat{H}_e$)

NOTE Cette définition diffère de celle de la CEI 60050 [221-03-10].

3.1.3

excitation

soit l'induction, soit le champ magnétique pour lequel la forme d'onde et l'amplitude restent toutes les deux dans les limites de la tolérance spécifiée

NOTE Lorsque le mode d'excitation d'induction (de champ magnétique) est choisi, la forme d'onde qui résulte du champ magnétique (de l'induction) peut être déformée par rapport à la grandeur d'excitation en raison du comportement non linéaire du matériau magnétique.

3.1.4

niveau élevé d'excitation

excitations pour lesquelles la perméabilité dépend de l'amplitude d'excitation (particulièrement en basse fréquence) et/ou auxquelles la perte de puissance donne lieu à une augmentation visible de la température (en particulier en haute fréquence)

3.1.5

excitation sinusoïdale

excitation de contenu harmonique inférieur à 1 %

3.1.6

enroulement d'excitation

enroulement de la bobine de mesure auquel est appliquée la tension d'excitation ou à travers lequel s'écoule le courant d'excitation

3 Terms, definitions and symbols

3.1 Definitions

For the purposes of this International Standard, the following definitions apply in addition to those of IEC 60050(221).

3.1.1

(effective) amplitude permeability (symbols: amplitude permeability: μ_a , effective amplitude permeability: μ_{ea})

magnetic permeability obtained from the peak value of the effective magnetic induction, $\hat{B}_e$, and the peak value of the magnetic field strength, $\hat{H}_e$, at the stated value of either, when the magnetic induction and magnetic field vary periodically with time and with an average of zero, and the material is initially in a specified neutralized state

NOTE 1 This definition differs from that of IEC 60050 [221-03-07].

NOTE 2 Two amplitude permeabilities are in common use, namely:

- that in which the peak values apply to the actual waveforms of the induction and field strength,
- that in which the peak values apply to the fundamental components of waveforms of the induction and the field strength.

NOTE 3 The induction and the field strength and, consequently, the amplitude permeability may even be quasi-static quantities, provided the core is cyclically magnetized and no excursion of the B-H curve appears.

3.1.2

maximum (effective) amplitude permeability (symbol $\mu_{ea \max}$)

maximum value of the (effective) amplitude permeability when the amplitude of excitation ($\hat{B}_e$ or $\hat{H}_e$) is varied

NOTE This definition differs from that of IEC 60050 [221-03-10].

3.1.3

excitation

either induction or field strength for which the waveform and amplitude both remain within the specified tolerance

NOTE When the induction (field strength) mode of excitation is chosen, the resultant waveform of field strength (induction) may be distorted with respect to the excitation waveform due to the non-linear behaviour of the magnetic material.

3.1.4

high excitation level

excitation at which the permeability depends on excitation amplitude (particularly at low frequencies) and/or at which the power loss results in a noticeable temperature rise (particularly at high frequencies)

3.1.5

sinusoidal excitation

excitation of harmonic content of less than 1 %

3.1.6

exciting winding

winding of measuring coil to which the exciting voltage is applied or through which the exciting current is flowing

3.1.7

enroulement voltométrique

enroulement non chargé d'une bobine de mesure à travers lequel la force électromotrice induite par l'excitation peut être déterminée

3.1.8

enroulement de mesure

enroulement, normalement secondaire, chargé ou non, qui peut être utilisé pour la mesure hors enroulement d'excitation et/ou enroulement voltométrique

3.1.9

perte de puissance

puissance absorbée par le noyau

3.2 Symboles

Toutes les formules de la présente norme utilisent des unités de base du Système International. Lorsqu'on utilise des multiples ou des sous-multiples, on doit introduire la puissance de 10 appropriée.

A_e	section effective du noyau
$\hat{B}_e$	valeur de crête de l'induction effective dans le noyau
f	fréquence
$\hat{H}_e$	valeur de crête du champ magnétique effectif dans le noyau
l_e	longueur du chemin magnétique effectif du noyau
L	inductance
i	valeur instantanée du courant
I	courant
N	nombre de tours de l'enroulement de la bobine de mesure
P	perte de puissance dans le noyau
Q_c	facteur de qualité du noyau pour une fréquence donnée
R	résistance
t	temps
T	température
u	valeur instantanée de la tension
U	tension
V_e	volume effectif du noyau
δ	erreur relative, déviation, etc.
Δ	erreur absolue, déviation, etc.
μ_{ea}	perméabilité d'amplitude (effective)
μ_0	constante magnétique = $4\pi \times 10^{-7}$ H/m
π	nombre 3,14159...
φ	déphasage
ω	pulsation = $2\pi f$

NOTE 1 Des indices, des exposants etc. supplémentaires donnent une signification plus spécifique au symbole donné.

NOTE 2 Les symboles utilisés de manière exceptionnelle sont définis à l'emplacement où ils apparaissent dans le texte.

NOTE 3 Les paramètres effectifs tels que la longueur du chemin magnétique effectif, l_e , la section effective, A_e , et le volume effectif du noyau, V_e , sont calculés conformément à la CEI 60205.

NOTE 4 Dans le reste de cette norme, le terme induction sera utilisé comme abréviation d'induction magnétique.

3.1.7**voltage sensing winding**

unloaded winding of a measuring coil across which the electromotive force induced by the excitation may be determined

3.1.8**measuring winding**

winding, usually secondary, loaded or unloaded, which can be used for measurement apart from the exciting and/or voltage sensing winding

3.1.9**power loss**

power absorbed by the core

3.2 Symbols

All the formulae in this standard use basic SI units. When multiples or sub-multiples are used, the appropriate power of 10 shall be introduced.

A_e	effective cross-sectional area of the core
$\hat{B}_e$	peak value of the effective induction in the core
f	frequency
$\hat{H}_e$	peak value of the effective magnetic field strength in the core
l_e	effective magnetic path length of the core
L	inductance
i	instantaneous value of the current
I	current
N	number of turns of winding of the measuring coil
P	power loss in the core
Q_c	quality factor of the core for a given frequency
R	resistance
t	time
T	temperature
u	instantaneous value of the voltage
U	voltage
V_e	effective volume of the core
δ	relative error, deviation, etc.
Δ	absolute error, deviation, etc.
μ_{ea}	(effective) amplitude permeability
μ_0	magnetic constant = $4\pi \times 10^{-7}$ H/m
π	the number 3,14159...
φ	phase shift
ω	angular frequency = $2\pi f$

NOTE 1 Additional subscript, upper script, etc. gives a more specific meaning to the given symbol.

NOTE 2 Symbols which are used sporadically are defined in the place where they appear in the text.

NOTE 3 Effective parameters, such as effective magnetic path length, l_e , effective cross-sectional area, A_e , and effective volume of the core, V_e , are calculated in accordance with IEC 60205.

NOTE 4 In the further text of this standard, the terms induction and field strength stand for the shortened terms magnetic induction and magnetic field strength.

4 Précautions générales pour les mesures à niveau élevé d'excitation

4.1 Indications générales

4.1.1 Relation avec la pratique

Les conditions, les méthodes et les procédures de mesure doivent être choisies de manière à ce que les résultats mesurés soient adaptés à la prédiction des performances du noyau dans des circonstances pratiques. Cela n'implique pas que toutes ces stipulations, en particulier celles liées aux grandeurs d'excitation, doivent correspondre aux termes rencontrés en pratique.

4.1.2 Paramètres effectifs de noyau et propriétés des matériaux

La section du noyau n'étant généralement pas uniforme et celui-ci n'ayant en général pas d'enroulements uniformément répartis le long du chemin de noyau, la mesure ne donne ni la perméabilité d'amplitude ni la perte de puissance du matériau mais des valeurs effectives de ces paramètres qui sont appropriées à l'induction effective $\hat{B}_e$ et au champ magnétique effectif $\hat{H}_e$ dans le noyau.

Pour la mesure de la perméabilité d'amplitude et de la perte de puissance du matériau, le noyau doit avoir une forme d'anneau ou une forme toroïdale dans laquelle il convient que le rapport du diamètre extérieur sur le diamètre intérieur ne soit pas supérieur à 1,4 avec des enroulements répartis uniformément près du noyau ayant un coefficient de couplage inductif pratiquement égal à un.

4.1.3 Reproductibilité de l'état magnétique

Pour éviter différents effets de rémanence et de temps dans le matériau du noyau, la mesure doit être effectuée avec un état magnétique reproductible et bien défini.

Sauf indication contraire, toute mesure avec une excitation spécifiée doit être effectuée au moment $t_m = t_c + \Delta t$ après le début du conditionnement magnétique; t_c est le temps nécessaire pour que le conditionnement magnétique soit terminé et sert de base pour le réglage de l'excitation spécifiée; Δt est la durée pendant laquelle le noyau est maintenu stable au niveau d'excitation réglé.

4.2 Bobine de mesure

4.2.1 Il convient que le nombre de tours soit spécifié pour chaque enroulement en relation avec les conditions de mesure, le matériel utilisé et la précision à obtenir. Il convient que les enroulements soient réalisés aussi près du noyau que possible, pour rendre les coefficients de couplage (lien de flux magnétique) entre les enroulements de la bobine de mesure et le noyau et entre les enroulements de la bobine de mesure, aussi proches de 100 % que possible.

Il convient que la résistance, la capacité répartie et la capacité inter-enroulements des enroulements soient aussi faibles que possible pour rendre les erreurs liées négligeables.

Dans le cas de noyaux en anneau ou toroïdaux, les spires doivent être réparties de manière régulière sur la circonférence du noyau.

Il convient que les connecteurs, essentiellement ceux de l'enroulement d'excitation, soient constitués d'éléments isolés, si cela est nécessaire pour les mesures à hautes fréquences.

NOTE Lors du bobinage d'un noyau à arêtes vives, il convient de veiller à ce que l'isolation du fil ne soit pas rompue et, dans le cas d'un fil multibrin, à ce que les éléments ne soient pas cassés.

4 General precautions for measurements at high excitation level

4.1 General statements

4.1.1 Relation to practice

The measuring conditions, methods and procedures shall be chosen in such a way that the measured results are suitable for predicting the performance of the core under practical circumstances. This does not imply that all these stipulations, especially those related to the excitation waveforms, have to correspond to terms encountered in practice.

4.1.2 Core effective parameters and material properties

Since the core is in general of non-uniform cross-section and generally has non-uniformly distributed windings along the core path, the measurement does not yield the amplitude permeability and the power loss of the material, but the effective values of these parameters appropriate to the effective induction $\hat{B}_e$ and the effective field strength $\hat{H}_e$ in the core.

For the measurement of the amplitude permeability and the power loss of the material, the core shall have a ring or toroidal shape in which the ratio of outer to inner diameter should not be greater than 1,4 and should have windings distributed uniformly, close to the core, of inductive coupling coefficient practically equal to unity.

4.1.3 Reproducibility of the magnetic state

To obliterate various remanence and time effects in the core material, the measurement shall be made at a well-defined and reproducible magnetic state.

Any measurement under specified excitation, unless otherwise stated, is to be made at the time $t_m = t_c + \Delta t$ after the magnetic conditioning start; t_c is the time period within which the magnetic conditioning is completed and, whereupon, the specified excitation is set; Δt is the time period during which the core is kept stable under the excitation being set.

4.2 Measuring coil

4.2.1 The number of turns shall be specified for each winding in relation to the measuring conditions, the equipment used and the accuracy to be obtained. The windings shall be wound as close to the core as possible, to make the coupling (magnetic flux linkage) coefficients between the measuring coil windings and the core and between the windings of measuring coil, as close to 100 % as possible.

The resistance, self-capacitance and inter-winding capacitance of windings should be as low as possible to make the related errors negligible.

In the case of ring or toroidal cores, the turns shall be distributed evenly around the core circumference.

The connectors, primarily of exciting winding, should consist of insulated strands, if this is necessary for measurements at high frequencies.

NOTE When winding a sharp-edge core, care should be taken to ensure that the wire insulation is not ruptured and, in the case of stranded wire, strands are not broken.

4.2.2 L'utilisation d'un enroulement unique à la fois pour l'excitation et la détection de tension est recommandée si

- le couplage entre l'enroulement d'excitation et l'enroulement de détection de tension est réduit d'une manière telle qu'il provoque une erreur non négligeable dans la détermination de l'induction de mesure B dans le noyau;
- la capacité inter-enroulements est trop élevée;
- il n'existe pas de contre-indications de circuits de mesure relative à la connexion directe de l'enroulement d'excitation à l'entrée (aux entrées) des instruments de mesure.

NOTE Lorsque l'enroulement unique est utilisé, il est recommandé de rendre sa résistance aussi faible que possible pour rendre la perte de puissance ohmique de l'enroulement négligeable par rapport à la perte de puissance dans le noyau.

L'utilisation d'enroulements d'excitation et de détection de tension séparés (enroulement double) est recommandée si, pour une raison quelconque, il convient que l'enroulement d'excitation soit séparé galvaniquement des instruments de mesure de la tension et du courant, par exemple pour éviter une connexion flottante ou en courant continu vers leurs entrées.

NOTE 1 Lorsqu'on utilise les enroulements d'excitation et de détection de tension, il est important de rapprocher autant que possible leurs coefficients de couplage magnétique de 100 %.

NOTE 2 Lorsque la tension nécessaire pour le calcul de l'induction dans le noyau est mesurée à travers l'enroulement de détection de tension, seule la perte de puissance dans le noyau est déterminée sans la perte de puissance ohmique dans l'enroulement de courant admissible (d'excitation).

NOTE 3 L'utilisation de deux enroulements est recommandée pour des fréquences supérieures à 200 kHz.

4.3 Montage des noyaux constitués de plus d'une partie

Le noyau constitué de plus d'une partie et qui doit être assemblé autour de la bobine de mesure doit être fixé avec une colle, une bande adhésive ou un dispositif d'assemblage pendant toute la mesure.

Quelle que soit la méthode utilisée pour assembler les parties du noyau, il doit avoir les caractéristiques suivantes:

- répartition de la force d'application de manière uniforme sur les surfaces d'accouplement, sans introduire de contraintes de déformation dans le noyau;
- maintien de toutes les parties du noyau de manière rigide et sans changer la position des unes par rapport aux autres;
- lorsqu'on utilise une méthode d'assemblage spécifiée, on doit appliquer une sur-force initiale d'environ 10 % lorsque le noyau est fermé, pour casser les petites irrégularités entre les différentes surfaces de contact nettoyées; la force d'assemblage spécifiée de ± 5 % doit être appliquée;
- maintien à un niveau constant de la force d'assemblage à ± 1 % pendant toutes les opérations de mesure dans toutes les conditions de mesure, y compris la gamme de températures spécifiées complète.

Le montage de tels noyaux doit être effectué conformément aux instructions suivantes.

La surface d'accouplement doit être contrôlée pour constater les dommages et la propreté. On ne doit pas utiliser de noyaux endommagés. La surface d'accouplement doit être nettoyée avec des procédés non abrasifs, par exemple en frottant doucement sur un cuir de lavage sec. Ensuite, les surfaces d'accouplement doivent être dégraissées si elles doivent être collées. Les particules de poussières doivent être éliminées avec de l'air comprimé sec et propre. On ne doit jamais toucher les surfaces d'accouplement à mains nues. Les parties du noyau doivent ensuite être assemblées autour de la bobine de mesure, celle-ci étant verrouillée en position par rapport au noyau par des moyens adaptés, par exemple une rondelle en mousse. Les parties du noyau sont centrées et collées ou placées dans le dispositif d'assemblage.

4.2.2 The use of a single winding both for excitation and voltage sensing is recommended if

- the coupling between the exciting winding and the voltage sensing winding is so reduced that it results in a non-negligible error in the determination of the measuring induction B in the core;
- the inter-winding capacitance is too high;
- there is no measuring circuitry contra-indication against the direct connection of the exciting winding to input(s) of measuring instruments.

NOTE When single winding is used, it is recommended that its resistance be made as low as possible to make the winding ohmic power loss negligible compared to the power loss in the core.

The use of separate exciting and voltage sensing windings (double winding) is recommended if, for whatever reason, the exciting winding should be galvanically separated from the voltage and the current measuring instruments, for example, to avoid a floating or d.c. connection to their inputs.

NOTE 1 When the exciting and voltage sensing windings are used, it is critical to make their magnetic coupling coefficient as close to 100 % as possible.

NOTE 2 When the voltage needed for calculation of the induction in the core is measured across the voltage sensing winding then only the power loss in the core is determined with the exclusion of the ohmic power loss in the current-carrying (exciting) winding.

NOTE 3 The use of two windings is recommended at more than 200 kHz.

4.3 Mounting of cores consisting of more than one part

The core, which consists of more than one part and which is to be assembled around the measuring coil, shall be held together with glue, tape or a clamping device throughout the measurement.

Whichever method is used to join the core parts together, it shall have the following characteristics:

- distribution of the joining force uniformly over the mating surfaces, without the introduction of bending stresses in the core;
- holding of all the core parts rigidly and without changing the position to each other;
- when a specified clamping method is used, an initial over-force of about 10 % shall be applied when the core is closed, in order to break down fine irregularities between the cleaned mating surfaces. Next, the specified clamping force ± 5 % shall be applied;
- keeping the joining force constant within ± 1 % during all measuring operations within all measuring conditions, including the full specified temperature range.

The mounting of such cores shall be carried out in accordance with the following instructions.

The mating surface shall be inspected for damage and cleanness. Damaged cores shall not be used. The mating surface shall be cleaned by non-abrasive means, for example, by rubbing gently on a dry washing-leather. Next, the mating surfaces shall be degreased if they have to be glued. Dust particles shall be blown off with clean dry compressed air. The mating surfaces shall never be touched with bare fingers. The core parts shall then be assembled around the measuring coil, the latter being locked in position with respect to the core by suitable means, for example, a foam-washer. The core parts are centered and glued or placed in clamping device. The glue, if used, shall be spread evenly on the mating surface to form a film as thin as possible and then properly hardened.

La colle, si elle est utilisée, doit être étendue de manière uniforme sur la surface d'accouplement pour former un film aussi fin que possible et ensuite elle doit être correctement durcie. Dans le cas où le dispositif de fixation est utilisé, la force de fixation stipulée dans la spécification associée doit être appliquée. Les noyaux collés, bandés ou fixés doivent être laissés au repos dans les conditions spécifiées (voir l'article 3 de la CEI 60367-1) pendant une durée suffisante pour permettre à toute variation des effets de contrainte due à l'assemblage, au collage ou au bandage de devenir négligeable.

4.4 Matériel de mesure

On peut utiliser tout matériel de mesure adapté. Des exemples de circuits appropriés sont présentés aux annexes A à E.

En plus de toute prescription spécifiée pour la méthode particulière et/ou le circuit de mesure utilisé, les prescriptions générales suivantes doivent être respectées.

4.4.1 Pour assurer le mode d'excitation d'induction (de champ magnétique), l'impédance de sortie de la source d'excitation doit être faible (élevée) par rapport à l'impédance de série de l'enroulement d'excitation de la bobine de mesure assemblée avec le noyau à l'essai et la résistance de détection de courant.

4.4.2 Lorsqu'on spécifie la forme sinusoïdale d'excitation, le contenu harmonique total de la source d'excitation doit être inférieur à 1 %. Lorsque des impulsions carrées sont spécifiées, les prescriptions applicables de l'article 16 de la CEI 60367-1 doivent être remplies.

4.4.3 Pendant la mesure, les variations d'amplitude d'excitation ne doivent pas dépasser $\pm 0,05$ % et la stabilité de fréquence doit être adaptée à la méthode de mesure et au matériel utilisé.

4.4.4 La plage de fréquences des voltmètres et des autres instruments de détection de tension doit inclure toutes les harmoniques de la tension mesurée ayant des amplitudes de 1 % ou plus de leurs valeurs de base. La plage de fréquences doit être stipulée dans la spécification applicable.

4.4.5 Les voltmètres et les autres instruments de détection de tension utilisés doivent être des instruments à impédance élevée dont la connexion n'aura qu'un effet négligeable sur le circuit de mesure, spécialement à haute fréquence. Les sondes de résistance d'entrée élevée et de faible capacité d'entrée peuvent réduire les effets de charge.

4.4.6 La précision des voltmètres et/ou instruments de détection de la tension déterminée pour le calibrage des grandeurs sinusoïdales doit se situer dans une tolérance relative de $\pm 0,5$ % pour les valeurs efficaces et moyennes et ± 1 % pour les valeurs de crête, dans la mesure où le facteur de crête des grandeurs à mesurer se situe dans les limites imposées par l'instrument.

Si les imprécisions dépassent les limites indiquées ci-dessus, il est recommandé d'utiliser uniquement une excitation sinusoïdale d'un contenu harmonique inférieur à 1 %, et

- pour déterminer les valeurs efficace, moyenne et de crête des formes sinusoïdales, il est recommandé d'utiliser un voltmètre de détection de valeur efficace vraie d'une précision de ± 1 %. Les valeurs moyenne et de crête sont obtenues en multipliant les valeurs efficaces indiquées par les facteurs suivants: valeur moyenne = $0,9 \times$ valeur efficace, valeur de crête = $1,414 \times$ valeur efficace;
- pour déterminer les valeurs efficace, moyenne et de crête des formes non sinusoïdales, un oscilloscope à mémoire et numérique ou des instruments d'acquisition et de traitement appropriés doivent être utilisés. Ces appareils doivent être en mesure de capter et de traiter des grandeurs avec un taux d'échantillonnage qui ne soit pas inférieur à 150 échantillons par période de forme d'onde et avec une résolution qui ne soit pas inférieure à 8 bits.

NOTE Le facteur de crête est le rapport de la valeur de crête sur la valeur efficace de la grandeur mesurée.

In the case where the clamping device is used, the clamping force specified in the relevant specification shall be applied. The glued, taped or clamped cores shall relax under the specified conditions (see clause 3 of IEC 60367-1) for a time sufficient to allow any variation of stress effects, due to clamping, gluing or taping, to become negligible.

4.4 Measuring equipment

Any suitable measuring equipment may be used. Examples of appropriate circuits are given in annexes A to E.

In addition to any requirement specified for the particular method and/or measuring circuit used, the following general requirements shall be met.

4.4.1 To ensure the induction (field strength) mode of excitation, the output impedance of the exciting source shall be low (high) compared with the series impedance of the exciting winding of the measuring coil assembled with the core under test and the current sensing resistor.

4.4.2 When the sinusoidal waveform of excitation is specified, the total harmonic content of the excitation source shall be less than 1 %. When square pulses are specified, the relevant requirements of clause 16 of IEC 60367-1 shall be met.

4.4.3 During the period of measurement, the excitation amplitude variations shall not exceed $\pm 0,05$ % and the frequency stability shall be adequate for the measuring method and the equipment used.

4.4.4 The frequency range of voltmeters and other voltage sensing instruments shall include all harmonics of the measured voltage having amplitudes of 1 % or more of their fundamentals. This frequency range shall be specified in the relevant instrument specification.

4.4.5 The voltmeters and other voltage sensing instruments used shall be high-impedance instruments, the connection of which will have only a negligible effect on the measuring circuit, especially at high frequencies. The probes of a high-input resistance and a low-input capacitance can reduce the load effects.

4.4.6 The accuracy of the voltmeters and/or voltage sensing instruments, determined for the calibrating sinusoidal waveform, shall be within $\pm 0,5$ % for r.m.s. and average values and ± 1 % for peak values, provided that the peak factor of waveforms to be measured is within limits imposed by the instrument.

If inaccuracies exceed the above limits, only a sine-wave excitation of total harmonic content less than 1 % is recommended and

- to determine the r.m.s., average and peak values of sinusoidal waveforms, a true r.m.s. sensing voltmeter of accuracy within ± 1 % is recommended. The average and peak values are obtained by multiplying the indicated r.m.s. values by the following factors: average value = $0,9 \times$ r.m.s. value, peak value = $1,414 \times$ r.m.s. value;
- to determine the r.m.s., average and peak values of non-sinusoidal waveforms, a digital storage and processing oscilloscope or appropriate acquisition and processing instrument shall be used. It shall be capable of capturing and processing the waveform with the sampling rate not less than 150 samples per waveform period and the resolution not less than 8 bits.

NOTE The peak factor is the ratio of the peak value to the r.m.s. value of measured waveform.

4.4.7 La valeur de la résistance de la résistance de détection de courant en série doit être connue avec une imprécision ne dépassant pas ± 1 chiffre au troisième rang significatif, y compris avec des variations thermiques possibles de la résistance. Une résistance à dissipation de chaleur ou à base refroidie peut modérer les variations thermiques indiquées ci-dessus.

L'inductance L de la résistance R dans la plage de fréquences spécifiée en 4.4.4 ne doit pas dépasser une valeur:

$$L \leq \frac{R}{\omega_m} \sqrt{2\delta\hat{U}_R}$$

où

R est la valeur de la résistance;

$\omega_m = 2\pi f_m$ f_m étant la fréquence la plus élevée dans la plage de fréquences spécifiée en 4.4.4;

$\delta\hat{U}_R$ est l'augmentation relative autorisée pour la chute de tension $\hat{U}_R$ à travers la résistance R , due à l'inductance L , à la fréquence f_m .

Exemple

Pour $\delta\hat{U}_R = 0,1 \%$, $R = 1 \Omega$ et la fréquence la plus élevée $f_m = 500 \text{ kHz}$, l'inductance L doit être inférieure à $(2\pi \times 500 \times 10^3)^{-1} \times 1 \times (2 \times 0,001)^{0,5} = 14,2 \text{ nH}$.

La résistance de détection de courant peut être remplacée par une sonde de courant adaptée de manière appropriée dans la mesure où cela ne réduit pas l'amplitude et la précision de phase sur la plage de fréquences comme cela est stipulé en 4.4.4. Par ailleurs, la sonde de courant doit être un dispositif linéaire, c'est-à-dire ne pas générer d'harmoniques.

NOTE Pour la mesure de la perméabilité d'amplitude, c'est la précision d'amplitude de la sonde de courant qui est essentiellement concernée.

4.4.8 Toutes les connexions entre les composants du circuit doivent être aussi courtes que possible. Par ailleurs, les connexions, si elles sont multiples, donnant un déphasage non égal complémentaire, doivent être de longueur égale et du même type. Tout déphasage $\Delta\varphi$ entre les voies conçues comme équiphasées pour conduire les signaux correspondant à l'induction et au champ magnétique au-dessus de la plage de fréquences définie en 4.4.4 ne doit pas dépasser une valeur de:

$$\Delta\varphi = \pm \frac{\delta P(\Delta\varphi)}{Q_c} \text{ radian}$$

où

$\delta P(\Delta\varphi)$ est la part d'imprécision totale de la mesure de perte de puissance qui est liée au déphasage $\Delta\varphi$;

$Q_c = \frac{\omega \hat{B}_e \hat{H}_e}{2P_v}$ est le facteur de qualité du noyau à l'essai;

$\omega = 2\pi f$ est la pulsation;

$\hat{B}_e$ et $\hat{H}_e$ sont les valeurs de crête de l'induction et du champ magnétique effectifs dans le noyau, respectivement;

$P_v = P/V_e$ est la densité de perte de puissance; V_e est le volume effectif du noyau.

4.4.7 The resistance of the in-series current sensing resistor shall be known with an inaccuracy not exceeding ± 1 digit on the third significant place, including possible thermal variations of the resistance. A heat-sinking or cooled base of the resistor may moderate the above thermal variations.

The inductance L of the resistor R over the frequency range specified in 4.4.4 shall not exceed a value

$$L \leq \frac{R}{\omega_m} \sqrt{2\delta\hat{U}_R}$$

where

R is the value of the resistor;

$\omega_m = 2\pi f_m$ f_m being equal to the highest frequency within the frequency range specified in 4.4.4;

$\delta\hat{U}_R$ is the allowable relative increase in the voltage drop $\hat{U}_R$ across the resistor R , due to the inductance L , at frequency f_m .

Example

For $\delta\hat{U}_R = 0,1\%$, $R = 1\ \Omega$ and the highest frequency $f_m = 500\text{ kHz}$, the inductance L shall be less than $(2\pi \times 500 \times 10^3)^{-1} \times 1 \times (2 \times 0,001)^{0,5} = 14,2\text{ nH}$.

The current sensing resistor can be replaced by an appropriately adapted current probe provided that this does not reduce the amplitude and phase accuracy over the frequency range as required in 4.4.4. In addition, the current probe shall be a linear device i.e. not generating harmonics.

NOTE For the amplitude permeability measurement, it is the amplitude accuracy of the current probe which is mainly concerned.

4.4.8 All the connections between the circuit components shall be as short as possible. In addition, connections, if more than one, giving an additional non-equal phase shift shall be of equal length and of the same type. Any phase shift $\Delta\varphi$ between the channels designed as equiphase to lead the signals corresponding to the induction and field strength over the frequency range defined in 4.4.4 shall not exceed a value

$$\Delta\varphi = \pm \frac{\delta P(\Delta\varphi)}{Q_c} \text{ radian}$$

where

$\delta P(\Delta\varphi)$ is that portion of the total inaccuracy of the power loss measurement which is related to the phase shift $\Delta\varphi$;

$Q_c = \frac{\omega\hat{B}_e\hat{H}_e}{2P_v}$ is the quality factor of the core under test;

$\omega = 2\pi f$ is the angular frequency;

$\hat{B}_e$ and $\hat{H}_e$ are the peak values of the effective induction and the effective field strength in the core, respectively;

$P_v = P/V_e$ is the power-loss density; V_e is the effective volume of the core.

Si on applique une excitation non sinusoïdale, les déphasages des harmoniques impliquées doivent être déterminées. En correspondance avec chaque fréquence d'harmonique, les valeurs des paramètres indiqués plus haut doivent être utilisées dans le calcul de chaque fréquence harmonique.

Exemple

$\delta P(\Delta\varphi)$ doit être à $\pm 1 \%$ et $Q = 5$ pour un noyau et des conditions de mesure donnés. C'est pourquoi $\Delta\varphi$ doit être à $\pm 0,01/5 = \pm 0,002$ radian.

4.4.9 Tout contact d'un connecteur, d'une jonction, d'interrupteurs, de multiplexeurs intermédiaires, etc. qui est associé au circuit de mesure de tension ou de courant doit être en mesure de transmettre les tensions impliquées et les courants de conditionnement et de mesure des valeurs stipulées dans la spécification applicable. La résistance de contact, le déphasage, les couplages inductifs et capacitifs, les impédances de série et les admittances parallèles résultant de l'insertion du contact ne doivent avoir qu'un effet négligeable sur les résultats mesurés sur toutes les conditions de mesure concernées, y compris la plage de fréquences, comme cela est spécifié en 4.4.4.

4.4.10 Il est recommandé que des mesures et/ou un étalonnage soient effectués pour s'assurer que l'imprécision de mesure qui en résulte pour la perméabilité d'amplitude et la perte de puissance sur toutes les conditions de mesure ne dépassent pas l'imprécision spécifiée pour une méthode de mesure donnée et un circuit spécifié dans l'annexe appropriée.

4.4.11 On doit prévoir un environnement à température contrôlée, en mesure de maintenir l'équilibre thermique entre le noyau et cet environnement dans des limites de température spécifiées pendant le conditionnement, le réglage, la mesure et les opérations de lecture.

5 Spécimens

Des noyaux prélevés dans la production normale et formant des circuits magnétiques fermés doivent être utilisés pour la mesure.

6 Procédures de mesure

6.1 Procédure générale

6.1.1 Le noyau à mesurer est assemblé avec la bobine de mesure conformément à 4.3.

Dans le cas de noyaux en anneau toroïdaux, appliquer les enroulements conformément à 4.2.1.

6.1.2 Le noyau doit être placé dans un environnement à température contrôlée conformément à 4.4.11. Toutes les opérations de mesure telles que le conditionnement magnétique, les réglages et les mesures doivent être effectuées après obtention de la température du noyau et maintien de celle-ci dans les limites de la tolérance autorisées.

6.1.3 Les tensions correspondant à la valeur de crête d'induction $\hat{B}_e$ et à la valeur de crête du champ magnétique $\hat{H}_e$ auxquelles la mesure doit être réalisée sont calculées conformément aux formules suivantes:

– pour une excitation $\hat{B}_e$:
$$U_{av} = 4 \cdot f \cdot N \cdot A_e \cdot \hat{B}_e$$

où N est égale à N_1 lorsqu'un seul enroulement (à la fois pour les fonctions d'excitation et de détection de tension) est utilisé et N est égale à N_2 lorsqu'un enroulement secondaire est utilisé pour la détection de tension;

If a non-sinusoidal excitation is applied, the phase shifts for the harmonics involved shall be determined. Corresponding to each harmonic frequency, the values of the parameters listed above have to be used in the calculation of each harmonic frequency.

Example

$\delta P(\Delta\phi)$ shall be within $\pm 1\%$ and $Q = 5$ for a given core and measuring conditions. Therefore, $\Delta\phi$ shall be within $\pm 0,01/5 = \pm 0,002$ radian.

4.4.9 Any contact of any intermediary connectors, joints, switches, multiplexers, etc., which is associated with the voltage or current measuring circuit, shall be able to transmit the voltages involved and the conditioning and measuring currents of values specified in the relevant specification. The contact resistance, phase shift, inductive and capacitive couplings, series impedance and parallel admittance resulting from insertion of the contact shall have only a negligible effect on the results measured over all the measuring conditions involved, including the frequency range as specified in 4.4.4.

4.4.10 Measures and/or calibration should be taken to ensure that the resultant inaccuracy of measurement for the amplitude permeability and the power loss over all the measuring conditions does not exceed the inaccuracy specified for the given measuring method and circuit specified in the appropriate annex.

4.4.11 A temperature-controlled environment shall be provided, capable of maintaining the thermal equilibrium between the core and that environment within specified temperature limits during the conditioning, setting, measurement and reading operations.

5 Specimens

Cores taken from normal production and forming closed magnetic circuits shall be used for the measurement.

6 Measuring procedures

6.1 General procedure

6.1.1 The core to be measured is assembled with the measuring coil in accordance with 4.3.

In the case of ring and toroidal cores, apply winding(s) in accordance with 4.2.1.

6.1.2 The core shall be placed in a temperature-controlled environment in accordance with 4.4.11. All measuring operations like magnetic conditioning, settings and measurement shall be made after the temperature of the core is attained and maintained within allowed tolerance limits.

6.1.3 The voltages corresponding to the peak value of induction $\hat{B}_e$ and to the peak value of the field strength $\hat{H}_e$ at which the measurement has to be performed are calculated according to the following formulae:

– for $\hat{B}_e$ excitation:
$$U_{av} = 4 \cdot f \cdot N \cdot A_e \cdot \hat{B}_e$$

where N is equal to N_1 when a single winding (both for exciting and voltage sensing functions) is used and N is equal to N_2 when a secondary winding is used for the voltage sensing;

– pour une excitation $\hat{H}_e$ $\hat{U}_R = R \cdot I_e \cdot \hat{H}_e / N_1$

Les symboles sont définis en 3.2, et N_1 est le nombre de tours de l'enroulement d'excitation.

NOTE 1 Pour les formes d'induction sinusoïdales pratiquement pures $\hat{B}_e$, la tension correspondant à $\hat{B}_e$, peut être mesurée en utilisant aussi les voltmètres ou instruments de lecture des valeurs efficaces et de crête. Les valeurs efficace, U_{eff} et de crête, $\hat{U}$, respectives de cette tension sont calculées comme suit:

$$U_{\text{eff}} = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot f \cdot N \cdot A_e \cdot \hat{B}_e$$

$$\hat{U} = 2\pi \cdot f \cdot N \cdot A_e \cdot \hat{B}_e$$

NOTE 2 Si la sonde de courant est utilisée à la place de la résistance R , la valeur de crête du courant $\hat{I}$ correspondant à $\hat{H}_e$ est calculée comme $\hat{I} = \hat{H}_e \cdot l_e / N_1$.

NOTE 3 Dans le cas où une autre aire transversale que A_e est utilisée, par exemple, A_{min} , pour le calcul de U_{av} , cela doit être clairement indiqué dans la spécification applicable.

6.1.4 Le noyau est conditionné par la méthode électrique conformément au point 1) de 6.2 de la CEI 60367-1, sauf spécification contraire.

6.1.5 Au moment spécifié t_c après le début du conditionnement, on règle la source d'excitation, aussi rapidement que possible, de préférence à $t_c = (2 \pm 0,5)$ s pour les paramètres temporels, à la fréquence, la grandeur et l'amplitude d'excitation exigées.

NOTE Pour conserver une grandeur d'excitation correcte dans toutes les conditions de mesure, il convient de la contrôler. Dans le cas du mode d'induction de l'excitation, il convient que l'entrée du dispositif de contrôle soit de préférence connectée à un enroulement de détection de tension séparé.

6.1.6 Au temps t_m , les lectures de mesure doivent être effectuées et l'excitation doit être rapidement coupée. La durée pendant laquelle le noyau est soumis à une excitation spécifiée doit être aussi brève que possible mais inférieure à 10 s, pour empêcher le noyau de subir un auto-échauffement excessif.

6.1.7 Lorsqu'un noyau est excité dans des conditions d'impulsions ou sans composante de polarisation, les stipulations complémentaires respectives de l'article 16 de la CEI 60367-1 doivent être prises en compte.

6.2 Méthode de mesure pour la perméabilité d'amplitude (effective)

6.2.1 Objet

Fournir une méthode de mesure de la perméabilité d'amplitude (effective) à des niveaux d'excitation élevés et pour des grandeurs périodiques symétriques de noyaux magnétiques formant des circuits magnétiques fermés.

NOTE Comme variante, la valeur de crête de l'induction obtenue à une valeur de crête spécifiée du champ magnétique ou la valeur de crête du champ magnétique à une valeur de crête spécifiée de l'induction peut être déterminée.

6.2.2 Principe de mesure

L'induction et le champ magnétique dans un noyau sont déterminés par la mesure de la valeur moyenne de tension par demi-période à travers l'enroulement de détection de tension de la bobine de mesure enroulé sur le noyau et la valeur de crête de la tension à travers la résistance en série avec l'enroulement d'excitation de cette bobine. Les mesures sont effectuées à des valeurs de crête spécifiées soit d'induction soit de champ magnétique, fréquence et température.

– for $\hat{H}_e$ excitation: $\hat{U}_R = R \cdot I_e \cdot \hat{H}_e / N_1$

The symbols are defined in 3.2, and N_1 is the number of turns of the exciting winding.

NOTE 1 For the practically pure sinusoidal waveform of induction $\hat{B}_e$, the voltage, corresponding to $\hat{B}_e$, can be measured using also r.m.s. or peak reading voltmeters or instruments. The respective r.m.s., U_{rms} , and peak, $\hat{U}$, values of this voltage are calculated as

$$U_{rms} = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot f \cdot N \cdot A_e \cdot \hat{B}_e$$

$$\hat{U} = 2\pi \cdot f \cdot N \cdot A_e \cdot \hat{B}_e$$

NOTE 2 If the current probe is used instead of the resistor R, the peak value of the current $\hat{I}$ corresponding to $\hat{H}_e$ is calculated as $\hat{I} = \hat{H}_e \cdot l_e / N_1$.

NOTE 3 If a cross-section area other than A_e is used, for example A_{min} , for the calculation of U_{av} , this shall be clearly stated in the relevant specification.

6.1.4 The core is conditioned by the electrical method in accordance with item 1) of 6.2 of IEC 60367-1, unless otherwise stated.

6.1.5 At the specified time t_c after the start of the conditioning, the exciting source is set, as quickly as possible, preferably within $t_c = (2 \pm 0,5)$ s for the time-dependent parameters, to the required frequency, waveform and amplitude of excitation.

NOTE To keep the correct excitation waveform within all the measuring conditions, it should be under control. In the case of the induction mode of excitation, the input of the control device should preferably be connected to a separate voltage sensing winding.

6.1.6 At the time t_m , the measurement readings shall be taken and then the excitation promptly turned off. The time period when the core is under specified excitation shall be as short as possible but no longer than 10 s; to prevent the core from excessive self-heating.

6.1.7 When a core is excited under pulse conditions with or without a biasing component, respective complementary stipulations of clause 16 of IEC 60367-1 shall be taken into account.

6.2 Measuring method for the (effective) amplitude permeability

6.2.1 Purpose

To provide a method for the measurement of the (effective) amplitude permeability at high excitation levels and symmetrical periodic waveforms of magnetic cores forming closed magnetic circuits.

NOTE As an alternative, the peak value of the induction obtained at the specified peak value of the field strength or, otherwise, the peak value of the field strength at the specified peak value of the induction may be determined.

6.2.2 Principle of the measurement

The induction and the field strength in a core are determined by measuring the average value of voltage per half-period across the voltage sensing winding of the measuring coil wound on the core and the peak value of the voltage across the resistor in series with the exciting winding of that coil. The measurements are carried out at specified peak values either of induction or field strength, frequency and temperature.

6.2.3 Circuit et équipement

N'importe quel équipement peut être utilisé s'il remplit la fonction des circuits représentés à l'annexe A.

Les prescriptions de 4.4 doivent être remplies. Dans la mesure où les grandeurs d'induction et de champ magnétique ne sont pas critiques dans le cas de la mesure de la perméabilité d'amplitude, il n'est pas nécessaire que les prescriptions de 4.4.1 et 4.4.2 soient rigoureusement satisfaites.

NOTE S'il faut déterminer la perméabilité d'amplitude pour les valeurs de crête des fondamentaux des grandeurs de l'induction et du champ magnétique, il convient de mesurer ces valeurs de crête avec des instruments à choix de fréquence respectant les prescriptions de 4.4.

6.2.4 Procédure de mesure

On doit observer la procédure générale de 6.1.

Pour la valeur moyenne spécifiée U_{av} de tension à travers l'enroulement de détection de tension, on lit soit la valeur de crête $\hat{U}_R$ de tension à travers la résistance R soit la valeur de crête $\hat{I}$ du courant à travers l'enroulement d'excitation.

Pour l'excitation du champ magnétique, la valeur de U_{av} est lue à une valeur spécifiée de $\hat{U}_R$ ou $\hat{I}$.

NOTE Lorsque la spécification exige que l'induction soit mesurée avec un champ magnétique spécifié ou inversement, le champ magnétique avec l'induction spécifiée, la valeur de crête spécifiée de l'excitation est réglée et soit la valeur résultante $\hat{B}_e$ soit la valeur résultante $\hat{H}_e$ est déterminée, respectivement.

6.2.5 Calcul

La perméabilité d'amplitude (effective) est déduite de

$$\mu_{ea} = \frac{\hat{B}_e}{\mu_0 \hat{H}_e} = \frac{l_e R}{4\mu_0 f N_1 N_2 A_e} \cdot \frac{U_{av}}{\hat{U}_R}$$

ou si la sonde de courant est utilisée à la place de la résistance R:

$$\mu_{ea} = \frac{l_e}{4\mu_0 f N_1 N_2 A_e} \cdot \frac{U_{av}}{\hat{I}}$$

où

U_{av} est la valeur moyenne de la tension à travers l'enroulement de détection de tension N_2 ;

$\hat{U}_R$ est la valeur de crête de la tension à travers la résistance de série R;

$\hat{I}$ est la valeur de crête du courant traversant l'enroulement d'excitation N_1 ;

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

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

les symboles restants étant définis en 3.2.

NOTE Si les fonctions d'excitation et de détection de tension sont effectuées uniquement par l'enroulement primaire N_1 , il faut remplacer le produit $N_1 N_2$ par N_1^2 .

6.2.3 Circuit and equipment

Any suitable equipment may be used provided that it is able to fulfil the function of the circuits shown in annex A.

The requirements of 4.4 shall be met. Since the induction and field strength waveforms are not critical in the case of measurement of the amplitude permeability, the requirements of 4.4.1 and 4.4.2 need not be rigorously met.

NOTE If the amplitude permeability has to be determined for the peak values of fundamental components of the waveforms of the induction and field strength, these peak values should be measured by frequency selective instrument(s) observing the requirements of 4.4.

6.2.4 Measuring procedure

The general procedure of 6.1 shall be observed.

For the specified average value U_{av} of the voltage across the voltage sensing winding, either the peak value $\hat{U}_R$ of the voltage across the resistor R or the peak value $\hat{I}$ of the current flowing through the exciting winding is read.

For the field strength excitation, the value of U_{av} is read at the specified value of either $\hat{U}_R$ or $\hat{I}$.

NOTE When the specification requires the induction to be measured at the specified field strength or, inversely, the field strength at the specified induction, the specified peak value of the excitation is set, and either the resultant $\hat{B}_e$ or the resultant $\hat{H}_e$ is determined, respectively.

6.2.5 Calculation

The (effective) amplitude permeability is derived from

$$\mu_{ea} = \frac{\hat{B}_e}{\mu_0 \hat{H}_e} = \frac{l_e R}{4\mu_0 f N_1 N_2 A_e} \cdot \frac{U_{av}}{\hat{U}_R}$$

or if the current probe is used instead of resistor R

$$\mu_{ea} = \frac{l_e}{4\mu_0 f N_1 N_2 A_e} \cdot \frac{U_{av}}{\hat{I}}$$

where

U_{av} is the average value of voltage across voltage sensing winding N_2 ;

$\hat{U}_R$ is the peak value of the voltage across the series resistor R;

$\hat{I}$ is the peak value of the current flowing by the excitation winding N_1 ;

N_1 is the number of turns of the excitation winding N_1 ;

N_2 is the number of turns of the sensing winding N_2 ;

the remaining symbols being defined in 3.2.

NOTE If the exciting and voltage sensing functions are performed only by the primary winding N_1 , N_2 is replaced by N_1 and the product $N_1 N_2$ is replaced by N_1^2 .

6.3 Méthodes de mesure pour la perte de puissance

6.3.1 Objet

Fournir des méthodes pour la mesure de perte de puissance à des niveaux élevés d'excitation et des formes périodiques dans les noyaux magnétiques formant des circuits magnétiques fermés.

6.3.2 Méthodes et principes des mesures

Les méthodes d'essai suivantes sont adaptées selon le principe et l'application.

6.3.2.1 Méthode efficace (r.m.s. method)

Cette méthode est

- généralement applicable, à condition que les composants du circuit, le montage et l'équipement utilisés répondent aux prescriptions de 4.4;
- moins sensible aux formes d'ondes déformées.

La valeur efficace de la somme et de la différence des deux tensions, la première à travers l'enroulement de mesure non chargé de la bobine de mesure assemblée au noyau et la seconde à travers la résistance en série avec l'enroulement d'excitation de cette bobine sont mesurées au moyen d'un voltmètre à valeur efficace vraie. La différence des carrés de ces tensions efficaces est proportionnelle à la perte de puissance dans le noyau.

La procédure de mesure correspondante est donnée à l'annexe B.

6.3.2.2 Méthodes par multiplication

Ces méthodes qui sont fondées sur le principe identique de multiplication tension-courant sont sensibles aux erreurs de déphasage.

La tension liée à l'induction et la tension liée au champ magnétique dans le noyau sont acquises, traitées et multipliées soit de manière analogique, soit numérique, soit selon un procédé mixte avec les techniques temporelles ou de domaine de fréquences. Certaines de ces méthodes sont données au tableau 1.

Tableau 1 – Sélection de méthodes de multiplication et domaines liés de formes d'onde, d'excitation, d'acquisition, de traitement

Méthode de mesure	Domaine			Paragraphe de l'annexe C
	de forme d'excitation utilisable	d'acquisition	de traitement	
Appareil de mesure V-A-W	Sinusoïdale	Dans le temps	Dans le temps	C.1.1
Analyseur d'impédance	Sinusoïdale	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	C.1.2
Numérisation	Arbitraire	Dans le temps	Dans le temps	C.1.3
Spectre vectoriel	Arbitraire	Fréquence	Fréquence	C.1.4
Puissance croisée	Arbitraire	Dans le temps	Fréquence	C.1.5

Les procédures de mesure correspondantes sont données à l'annexe C.

6.3 Measuring methods for the power loss

6.3.1 Purpose

To provide methods for the measurement of power loss at high excitation levels and periodic waveforms in magnetic cores forming closed magnetic circuits.

6.3.2 Methods and principles of the measurements

The following methods are suitable according to the principle and application.

6.3.2.1 Root-mean-square method (r.m.s. method)

This method is

- generally applicable provided the circuit components, mounting and equipment used meet the requirements of 4.4;
- less sensitive to distorted waveforms.

The r.m.s. value of the sum and the difference of the two voltages, the first across the unloaded measuring winding of the measuring coil assembled with the core, and the second across the resistor in series with the exciting winding of that coil, are measured by means of the true r.m.s. voltmeter. The difference of the squares of these r.m.s. voltages is proportional to the power loss in the core.

The related measuring procedure is given in annex B.

6.3.2.2 Multiplying methods

These methods, based on the identical voltage-current multiplying principle, are sensitive to phase-shift errors.

The voltage related to the induction and the voltage related to the field strength in the core are acquired, processed and multiplied by either analogue, digital or mixed way in the time or frequency domain techniques. Some of these methods are shown in table 1.

Table 1 – Some multiplying methods and related domains of excitation waveforms, acquisition, processing

Measuring method	Domain of			Subclause of annex C
	useable excitation waveform	acquisition	processing	
V-A-W meter	Sinusoidal	Time	Time	C.1.1
Impedance analyser	Sinusoidal	Not applicable	Not applicable	C.1.2
Digitizing	Arbitrary	Time	Time	C.1.3
Vector spectrum	Arbitrary	Frequency	Frequency	C.1.4
Cross-power	Arbitrary	Time	Frequency	C.1.5

The related measuring procedures are given in annex C.

6.3.2.2.1 Méthode par appareil de mesure V-A-W (volt – ampère – watt)

Cette méthode est réservée à l'excitation sinusoïdale telle qu'elle est définie en 4.4.2.

Un appareil de mesure V-A-W multiplie en interne les tensions mesurées et donne une moyenne temporelle du produit des valeurs instantanées de ces tensions qui est proportionnelle à la perte de puissance du noyau.

6.3.2.2.2 Méthode par analyseur d'impédance

Cette méthode est limitée à l'excitation sinusoïdale telle qu'elle est définie en 4.4.2.

L'analyseur d'impédance détermine, à la fréquence fondamentale, les composantes vectorielles des tensions liées respectivement à l'induction et au champ magnétique dans le noyau et calcule une résistance parallèle liée à la perte de puissance dans le noyau. Le carré de la tension liée à l'induction divisée par la résistance parallèle donne la perte de puissance dans le noyau.

6.3.2.2.3 Méthode par numérisation

Cette méthode est adaptée aux grandeurs d'excitation arbitraires.

Les tensions mesurées sont échantillonnées et converties en données numériques par le numériseur. On calcule, à chaque point d'échantillon, le produit des tensions impliquées. La perte de puissance est proportionnelle à la moyenne des tensions multipliées sur un cycle.

6.3.2.2.4 Méthode par spectre vectoriel

Cette méthode est adaptée aux grandeurs d'excitation arbitraires.

Les amplitudes et le déphasage des signaux de tensions sont mesurés par un analyseur de réseau. Les mesures sont effectuées aux fréquences fondamentale et harmonique des tensions appliquées.

La perte de puissance dans le noyau est obtenue en faisant la somme des composantes de perte de puissance correspondant aux fréquences fondamentale et harmonique.

6.3.2.2.5 Méthode par la puissance croisée

Cette méthode est adaptée aux formes d'onde d'excitation arbitraires.

A la valeur spécifiée d'excitation, un ou plusieurs cycles de tensions mesurés sont échantillonnés et convertis en données numériques.

Le spectre complexe des cycles mesurés est calculé par la transformée de Fourier rapide (FFT). Le spectre de la puissance croisée est déduit de ces données.

La perte de puissance dans le noyau est obtenue en faisant la somme des parties réelles du spectre de puissance croisée à chaque fréquence.

6.3.2.2.1 V-A-W (volt – ampere – watt) meter method

This method is restricted to sinusoidal excitation as defined in 4.4.2.

A V-A-W meter multiplies internally the measured voltages and gives a time average of the product of the instantaneous values of these voltages which is proportional to the power loss of the core.

6.3.2.2.2 Impedance analyser method

This method is restricted to sinusoidal excitation as defined in 4.4.2.

The impedance analyser determines at the fundamental frequency the vector components of the voltages related respectively to the induction and to the field strength in the core and calculates a parallel resistance related to the power loss in the core. The square of the voltage related to the induction divided by the parallel resistance gives the power loss in the core.

6.3.2.2.3 Digitizing method

This method is suitable for arbitrary excitation waveforms.

The measured voltages are sampled and converted into digital data by a digitizer. At each sample point the product of the voltages involved is calculated. The power loss is proportional to the average of the multiplied voltages over one cycle.

6.3.2.2.4 Vector spectrum method

This method is suitable for arbitrary excitation waveforms.

The amplitudes and the phase difference of the voltage signals are measured by a network analyser. The measurements are made at the fundamental and harmonic frequencies of the applied voltages.

The power loss in the core is obtained by adding up the power-loss components corresponding to the fundamental and harmonic frequencies.

6.3.2.2.5 Cross-power method

This method is suitable for arbitrary excitation waveforms.

At the specified value of excitation, one or more cycles of the measured voltages are sampled and converted into digital data.

The complex spectrum of the measured cycles is computed by FFT (Fast Fourier Transform). The cross-power spectrum is deduced from these data.

The power loss in the core is obtained by adding up the real parts of the cross-power spectrum at each frequency.

6.3.2.3 Méthode de mesure par réflexion

Cette méthode fondée sur la mesure de la différence entre la puissance directe P_F et la puissance réfléchie P_R

- n'est pas limitée aux seules excitations sinusoïdales;
- est applicable aux fréquences supérieures à 500 kHz;
- est plutôt adaptée au mode d'excitation par induction.

La mesure est effectuée en utilisant un réflectomètre connecté à une tête de mesure à deux voies. Un voltmètre connecté en parallèle aux moniteurs d'enroulement de détection de tension. Un voltmètre ou un instrument de détection à valeur moyenne connecté à un enroulement de détection de tension permet le réglage de la valeur de crête de l'induction d'excitation.

NOTE Pour le mode magnétique d'excitation, l'insertion d'une résistance série de détection de courant connectée en parallèle à un instrument de mesure de tension peut affaiblir la précision de la mesure.

Les procédures de mesure liées sont données à l'annexe D.

6.3.2.4 Méthodes de mesure calorimétrique

Ces méthodes fondées sur la mesure de la hausse de température du fluide dans le récipient causée par la perte de puissance dans le noyau d'enroulement

- sont particulièrement adaptées à l'étalonnage;
- sont moins dépendantes de la fréquence de mesure;
- ne sont pas sensibles aux formes d'onde déformées;
- sont lentes (de manière typique, plusieurs heures par point de mesure).

A l'état d'équilibre thermique, la perte de puissance est déterminée soit en mesurant la différence de température ΔT (induite par la dissipation de puissance dans le noyau bobiné) à travers une résistance thermique étalonnée soit en attribuant cette différence ΔT à une valeur égale de ΔT induite par l'alimentation d'un niveau de puissance pouvant être déterminé et à une résistance de chauffage (ohmique).

Dans l'état d'équilibre non thermique, la température mesurée désirée est utilisée comme point de réglage. La détermination de la perte de puissance dans le noyau bobiné peut être réalisée en appliquant des niveaux déterminés de puissance à une résistance ohmique avec et sans alimentation de puissance vers le noyau bobiné.

Les procédures de mesure liées sont données à l'annexe E.

7 Informations à indiquer

Si les mesures doivent être effectuées conformément à la présente norme, l'information suivante doit être indiquée:

- 1) fréquence(s) de mesure;
- 2) température(s) de mesure avec tolérance(s);
- 3) mode d'excitation: induction ou champ magnétique;
- 4) forme d'onde d'excitation;
- 5) section du noyau utilisée pour les calculs, si elle est différente de la section effective A_E ;

6.3.2.3 Reflection measurement method

This method based on the measurement of the difference between forward power P_F and reflected power P_R is

- not limited to only sinusoidal excitations;
- applicable for frequencies higher than 500 kHz;
- suitable rather to the induction mode of excitation.

The measurement is made using a reflectionmeter connected to a two-channel measurement head. A voltmeter connected in parallel to the voltage sensing winding monitors the voltage. An average value sensing voltmeter or instrument connected to a voltage sensing winding enables the peak value of the exciting induction to be set.

NOTE For the field strength mode of excitation, the insertion of a current sensing series resistor connected in parallel to a voltage measuring instrument may decrease the accuracy of the measurement.

The related measuring procedures are given in annex D.

6.3.2.4 Calorimetric measurement methods

These methods, based on the measurement of temperature rise of the fluid in the vessel caused by power loss in the wound core, are

- especially suited for calibration purposes;
- less dependent on the measurement frequency;
- not sensitive to distorted waveforms;
- time consuming (typically several hours per measurement point).

In the state of thermal equilibrium, the power loss is determined either by measuring the temperature difference ΔT (induced by power dissipation in the wound core) across a calibrated thermal resistance or by matching this ΔT to an equal value of ΔT induced by the supply of a determinable level of power to a heating (ohmic) resistor.

In the state of non-thermal equilibrium, the desired measured temperature is used as a set point. The determination of power loss in the wound core can be made by supplying determined levels of power through an ohmic resistor with and without the supply of power to the wound core.

The related measuring procedures are given in annex E.

7 Information to be stated

If the measurements have to be made in accordance with this standard, the following information shall be stated:

- 1) measuring frequency(ies);
- 2) temperature(s) of the measurement(s) with tolerance(s);
- 3) mode of excitation: induction or field strength;
- 4) waveform of the excitation;
- 5) cross-section area of the core used for calculations, if other than the effective cross-section area A_e ;

- 6) valeur de crête d'excitation;
- 7) méthode de mesure et circuit de mesure lié;
- 8) nombre de tours, N_1 , de l'enroulement d'excitation;
- 9) nombre de tours, N_2 , de l'enroulement de détection de tension (le cas échéant);
- 10) nombre de tours, N_3 , de l'enroulement de mesure si un tel enroulement est nécessaire;
- 11) type et taille des fils et disposition des enroulements sur le noyau;
- 12) amplitude initiale du courant de conditionnement électrique;
- 13) périodes pendant lesquelles l'excitation est réglée, t_c , et la mesure effectuée, t_m , après le début du conditionnement magnétique;
- 14) degré de précision;
- 15) présentation des résultats, c'est-à-dire résultat unique, ensemble de résultats uniques ou caractéristiques fonctionnelles, par exemple: perte de puissance en fonction de la température à des valeurs données d'induction effective $\hat{B}_e$ et à une fréquence donnée comme paramètres; perméabilité d'amplitude en fonction de l'induction effective à une fréquence et une température données comme paramètres, etc.

NOTE 1 Lorsqu'il faut choisir les conditions de mesure et/ou d'essai (points 1) à 6)) concernant les propriétés du matériau du noyau, il convient de prendre en compte la recommandation donnée aux articles 3 et 4 de la CEI 60401, et en 4.3 de la CEI 61332.

NOTE 2 Le point 10) n'est pas nécessaire en ce qui concerne la mesure de la perméabilité d'amplitude.

NOTE 3 Si nécessaire, plus d'informations peuvent être exigées dans les spécifications particulières.

8 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir en fonction des besoins

- a) l'indication de conformité aux essais de la présente norme;
- b) le type, le matériau et le numéro de série ou la marque du spécimen d'essai;
- c) la taille de l'échantillon;
- d) les paramètres mesurés;
- e) la méthode d'essai et sa précision;
- f) les conditions d'essai (points 1) à 6) de l'article 7).

- 6) peak value(s) of the excitation;
- 7) measuring method and related measuring circuit;
- 8) number of turns, N_1 , of the exciting winding;
- 9) number of turns, N_2 , of the voltage sensing winding (if used);
- 10) number of turns, N_3 , of the measuring winding if such winding is required;
- 11) type and size of wires and arrangement of windings on the core;
- 12) initial amplitude of the electrically conditioning current;
- 13) time periods at which the excitation is set, t_c , and the measurement made, t_m , after the magnetic conditioning start;
- 14) degree of accuracy;
- 15) presentation of results i.e. single result, a set of single results or functional characteristics, such as power loss in function of temperature at given values of effective induction $\hat{B}_e$ and at a given frequency as parameters; amplitude permeability in terms of effective induction at a given frequency and temperature as parameters, etc.

NOTE 1 When the measuring and/or test conditions (items 1) to 6)) relevant to core material properties are to be chosen, the recommendation given in clauses 3 and 4 of IEC 60401 and in 4.3 of IEC 61332 should be considered.

NOTE 2 Item 10) is not required with regard to the amplitude permeability measurement.

NOTE 3 If needed, more information can be required in detailed specifications.

8 Test report

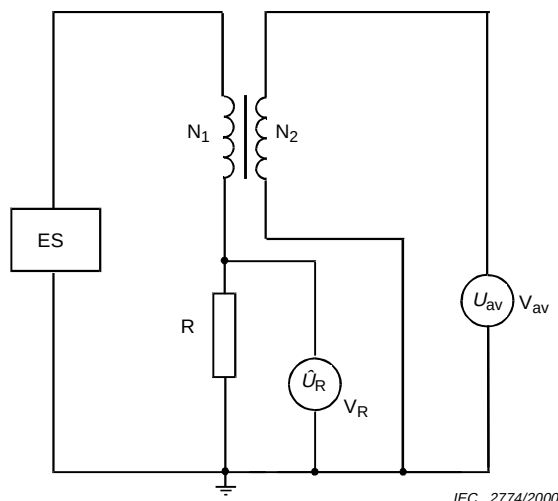
The test report shall contain as necessary

- a) the statement of the test conformity with this standard;
- b) the type, dimensions, material and serial number or mark of the test specimen(s);
- c) the sample size;
- d) the parameters measured;
- e) the test method used and its accuracy;
- f) the test conditions (items 1) to 6) of clause 7).

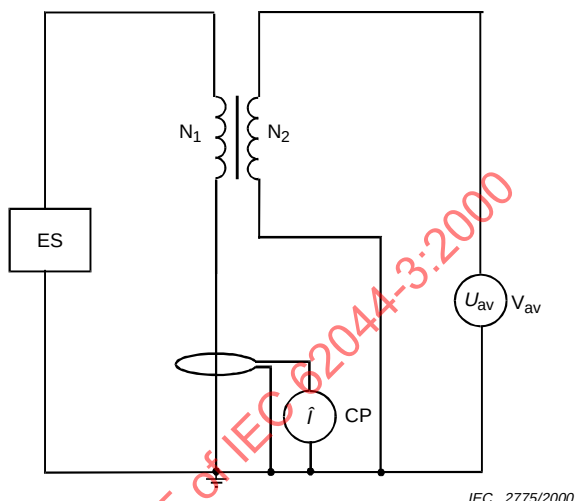
Annexe A (informative)

Circuits de base et équipement lié pour la mesure de la perméabilité d'amplitude

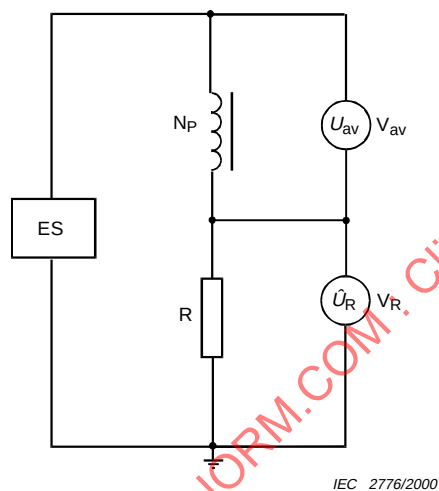
Circuits de base



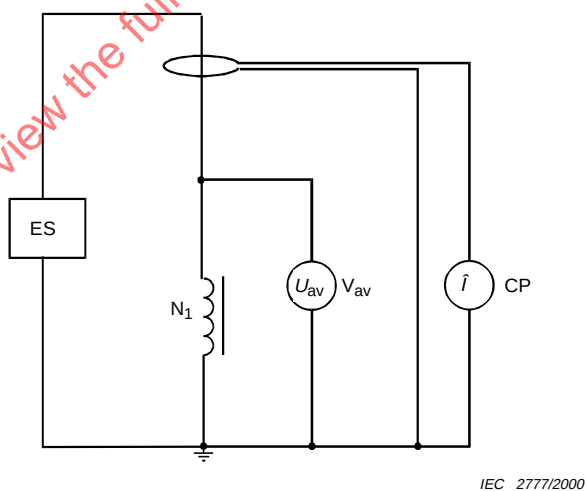
Circuit a)



Circuit b)



Circuit c)



Circuit d)

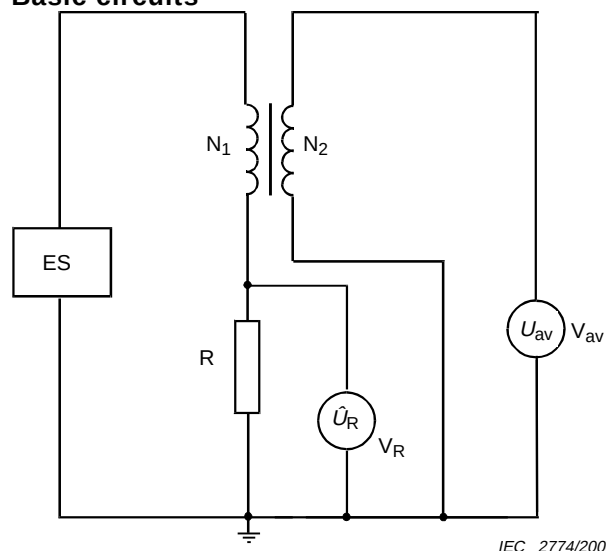
Connexions et alimentations

- Circuit a) deux enroulements, d'excitation N_1 et de détection de tension N_2 , avec résistance non réactive de détection de courant R ;
- Circuit b) deux enroulements, d'excitation N_1 et de détection de tension N_2 , avec sonde de courant CP ;
- Circuit c) enroulement d'excitation unique N_1 avec résistance non réactive de détection de courant R et instruments d'entrée flottante V_{av} et V_R ;
- Circuit d) enroulements d'excitation uniques N_1 avec sonde de courant CP .

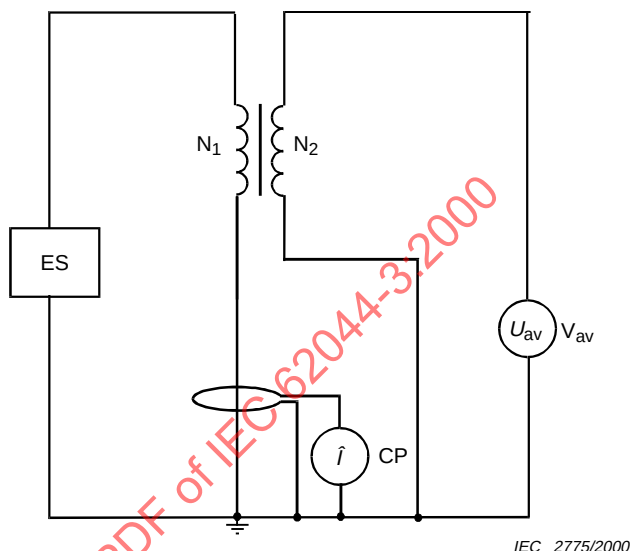
Annex A (informative)

Basic circuits and related equipment for the measurement of amplitude permeability

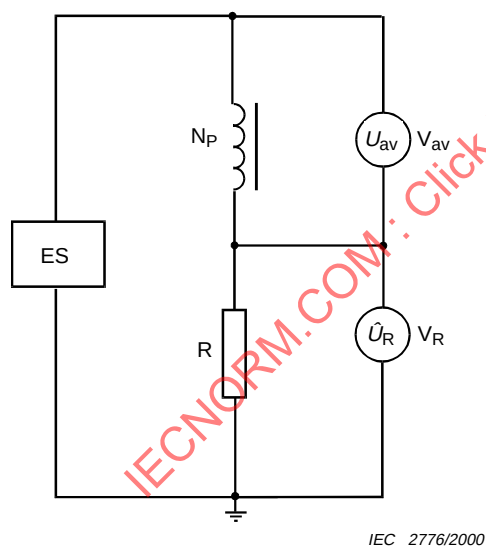
Basic circuits



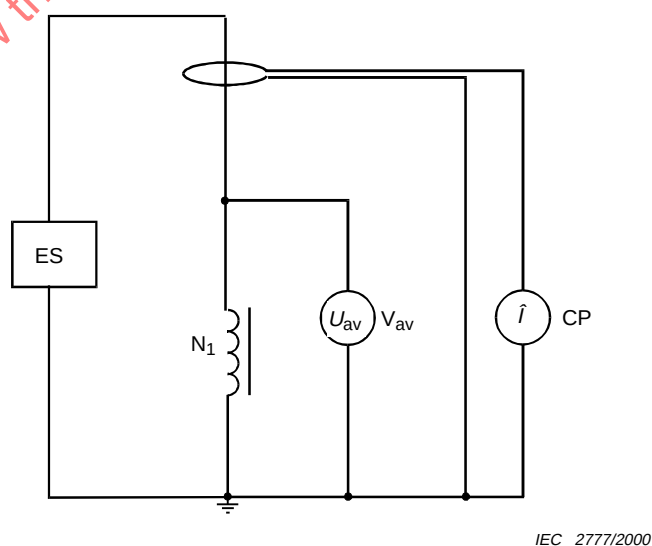
Circuit a)



Circuit b)



Circuit c)



Circuit d)

Connections and supplies

- Circuit a) two windings, exciting N_1 and voltage sensing N_2 , with current sensing non-reactive resistor R ;
- Circuit b) two windings, exciting N_1 and voltage sensing N_2 , with current probe CP ;
- Circuit c) single exciting winding N_1 with current sensing non-reactive resistor R and floating input instruments V_{av} and V_R ;
- Circuit d) single exciting windings N_1 with current probe CP .

Composants

ES	source d'excitation contenant généralement un générateur et un amplificateur de puissance;
R	résistance à travers laquelle on mesure la tension proportionnelle au courant I passant par l'enroulement d'excitation;
CP	sonde de courant détectant la valeur de crête $\hat{I}$ du courant;
V_R	voltmètre ou instrument détectant la valeur de crête de la tension;
V_{av}	voltmètre ou instrument détectant la valeur moyenne de la tension;
N_1 et N_2	enroulements d'excitation et de tension, respectivement.

Figure A.1 – Circuits de base pour la mesure de la perméabilité d'amplitude

Il est recommandé que les circuits et l'équipement utilisés remplissent les prescriptions de 4.4.

La précision qui en résulte à ± 3 % peut être obtenue si les prescriptions de 4.4 sont remplies.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2000

Components

ES	exciting source containing usually a generator and power amplifier;
R	resistor across which the voltage proportional to the current I flowing by the exciting winding is measured;
CP	current probe sensing the peak value $\hat{I}$ of the current;
V_R	voltmeter or instrument sensing the peak value $\hat{U}_R$ of the voltage across the resistor R;
V_{av}	voltmeter or instrument sensing the average value U_{av} of the voltage;
N_1 and N_2	the exciting and voltage sensing windings, respectively.

Figure A.1 – Basic circuits for the measurement of amplitude permeability

The circuits and equipment used should meet the requirements of 4.4.

The resultant accuracy within ± 3 % can be obtained if the requirements of 4.4 are met.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2000

Annexe B (informative)

Méthode efficace pour la mesure de la perte de puissance – Exemple d'un circuit et procédure liée

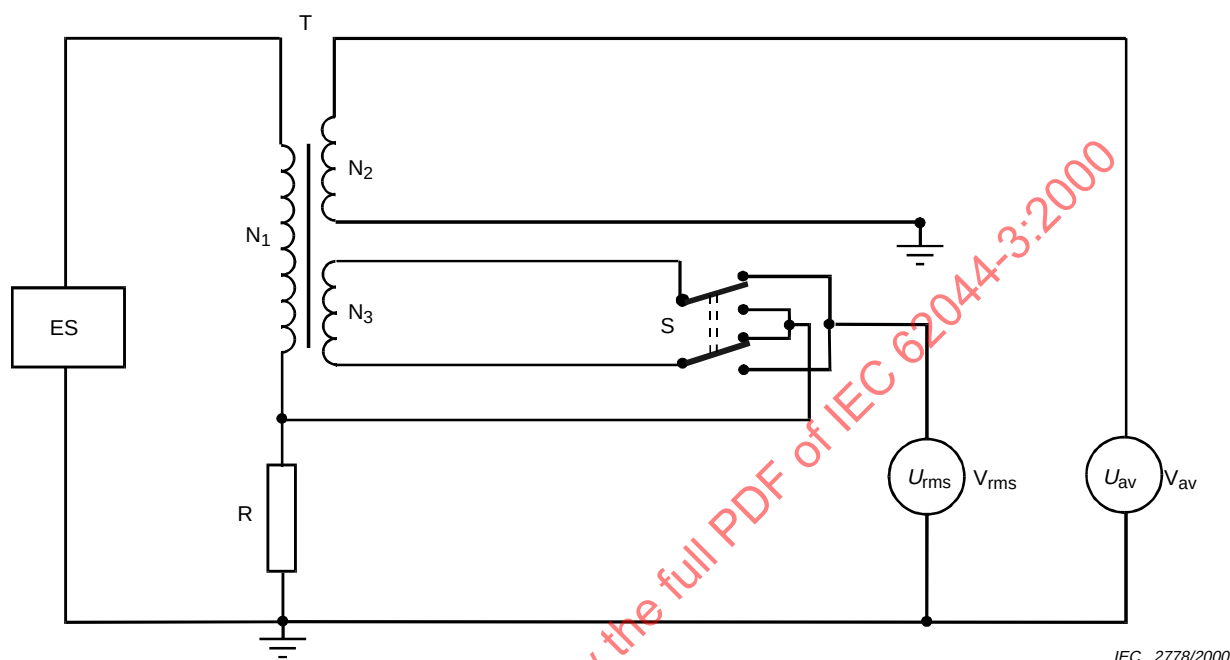


Figure B.1 – Exemple d'un circuit de mesure pour la méthode efficace

B.1 Méthode de mesure

Dans la méthode efficace, on utilise un interrupteur S pour connecter le voltmètre ou l'instrument de détection efficace pour mesurer à la fois la somme et la différence des deux tensions (voir figure B.1), les connexions de court-circuit de l'interrupteur doivent être aussi proches que possible de l'interrupteur et le voltmètre et l'instrument efficace doivent être connectés à l'interrupteur en utilisant un câble à faible bruit, à écran simple, à faible capacité.

Il est recommandé de connecter les instruments de mesure de la tension V_{rms} et V_{av} avec des sondes d'affaiblissement d'impédance élevée pour réduire le risque d'effet de surtension transitoire sur V_{rms} et V_{av} . Ces effets peuvent intervenir lorsque l'excitation est modifiée de manière brutale et/ou lorsqu'une position de contact de l'interrupteur S est changée.

Il est recommandé que les prescriptions de 4.4.1, 4.4.3, 4.4.8 et 4.4.9 soient respectées.

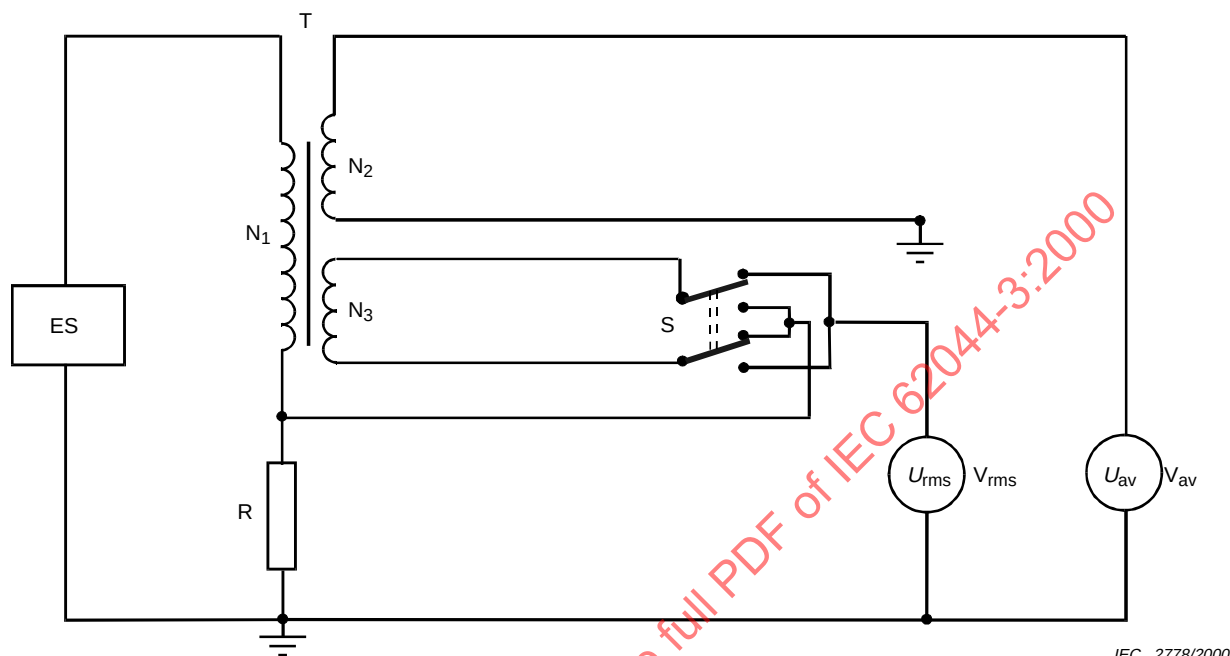
B.2 Bobine de mesure

Dans la méthode efficace, on utilise une bobine de mesure à enroulement triple avec enroulement d'excitation séparé, enroulement de mesure et enroulement de détection de tension.

NOTE L'enroulement de mesure est utilisé pour empêcher toute modification du déphasage entre les tensions à travers l'enroulement de mesure et la résistance R, par tout instrument de mesure de tension. Elle permet également la mise à la terre du voltmètre.

Annex B (informative)

Root-mean-square method for the measurement of power loss – Example of a circuit and related procedure



IEC 2778/2000

Figure B.1 – Example of a measuring circuit for the r.m.s. method

B.1 Method of measurement

In the r.m.s. method, a switch S is used to connect the r.m.s. sensing voltmeter or instrument to measure both the sum and the difference of two voltages (see figure B.1), the short-circuiting connections of the switch shall be as close as possible to the switch and the r.m.s. sensing voltmeter or instrument shall be connected to the switch using a low-noise, single-screened, low-capacitance cable.

It is recommended that the voltage measuring instruments V_{rms} and V_{av} be connected by means of high impedance attenuation probes to minimize a risk of transient over-voltage effects on V_{rms} and V_{av} . These effects may result when the excitation is too abruptly turned and/or contact position of the switch S changed.

The requirements of 4.4.1, 4.4.3, 4.4.8 and 4.4.9 should be met.

B.2 Measuring coil

In the r.m.s. method, a triple wound measuring coil with separate exciting winding, measuring winding and voltage sensing winding is used.

NOTE The measuring winding is used to prevent any change of the phase shift between the voltages across the measuring winding and across the resistor R , by any voltage measuring instrument. It also enables the voltmeter to be earthed.

B.3 Equipement de mesure

Il est recommandé que la source d'excitation ES satisfasse aux prescriptions spécifiées en 4.4.2 et 4.4.3. Pour les impulsions de tension rectangulaires, avec ou sans polarisation, il convient que la source d'excitation satisfasse aux prescriptions de 16.6 de la CEI 60367-1. Si le noyau doit être excité par des formes autres que les formes sinusoïdales ou rectangulaires, il convient que les prescriptions de modèle sur celles de 16.6 de la CEI 60367-1 soient stipulées dans la spécification applicable.

Le transformateur T est composé d'un noyau à l'essai et de trois enroulements séparés placés autour de lui, N_1 étant l'enroulement d'excitation, N_2 l'enroulement de détection de tension et N_3 l'enroulement de mesure. Il est souhaitable d'adapter le nombre de tours de l'enroulement de mesure N_3 de manière à ce que la tension qui le traverse soit de même ordre que la chute de tension à travers la résistance de mesure de courant R. La précision de la méthode augmente au fur et à mesure que ces tensions se rapprochent numériquement.

V_{rms} est un voltmètre ou un autre instrument efficace vrai réalisant cette fonction. V_{av} est un voltmètre ou un instrument de détection de valeur moyenne. Il convient qu'à la fois V_{rms} et V_{av} correspondent aux prescriptions de 4.4.4, 4.4.5 et 4.4.6.

Il convient de satisfaire également à d'autres prescriptions indiquées en 4.4.

B.4 Procédure de mesure

Il convient de respecter la procédure générale de 6.1. Dans cette méthode, on lit des indications du voltmètre ou d'un instrument efficace de détection lorsqu'il est connecté pour mesurer d'abord la somme puis la différence des deux tensions. Ces lectures doivent être réalisées le plus rapidement possible, de manière à n'être que très peu affectées par les différences d'état thermique du noyau et de la bobine de mesure.

Calcul

La perte de puissance du noyau est donnée par

$$P = \overline{(u \times i)} = \frac{|U_1^2 - U_2^2|}{4 \cdot \frac{N_1}{N_3} \cdot R}$$

où

$\overline{(u \times i)}$ est le produit moyenné dans le temps des valeurs instantanées de tension induites par l'excitation dans la bobine de mesure assemblée avec le noyau et le courant à travers l'enroulement d'excitation;

U_1 est la valeur efficace de la somme des tensions à travers l'enroulement de mesure et à travers la résistance R;

U_2 est la valeur efficace de la différence des tensions ci-dessus;

N_1 est le nombre de tours de l'enroulement d'excitation de la bobine de mesure;

N_3 est le nombre de tours de l'enroulement de mesure de la bobine de mesure;

R est la valeur de la résistance de mesure de courant.

B.3 Measuring equipment

The excitation source ES should meet the requirements specified in 4.4.2 and 4.4.3. For rectangular voltage pulses, with or without bias, the exciting source should meet the requirements of 16.6 of IEC 60367-1. If the core is to be excited by waveforms other than the sinusoidal or rectangular ones, requirements modelled on those of 16.6 of IEC 60367-1 should be specified in the relevant specification.

The transformer T is composed of the core under test and three separate windings wound on it, N_1 being the exciting winding, N_2 being the voltage sensing winding and N_3 being the measuring winding. It is advisable to adjust the number of turns of the measuring winding N_3 so that the voltage across it is of the same order as the voltage drop across the current-measuring resistor R. The accuracy of the method increases as these voltages approach numerical equality.

V_{rms} is a true r.m.s. voltmeter or other instrument performing that function, V_{av} is an average value sensing voltmeter or instrument. Both V_{rms} and V_{av} should meet the requirements of 4.4.4, 4.4.5 and 4.4.6.

Other requirements of 4.4 should also be met.

B.4 Measuring procedure

The general procedure of 6.1 should be met. In this method, indications of the r.m.s. sensing voltmeter or instrument are read when it is connected to measure first the sum and then the difference of the two voltages. These readings shall be taken, as quickly as possible, so that they are only negligibly influenced by differences in the thermal state of the core and measuring coil.

Calculation

The core power loss is given by

$$P = \overline{(u \times i)} = \frac{|U_1^2 - U_2^2|}{4 \cdot \frac{N_1}{N_3} \cdot R}$$

where

$\overline{(u \times i)}$ is the time-averaged product of the instantaneous values of voltage induced by the excitation in the measuring coil assembled with the core and the current through the exciting winding;

U_1 is the r.m.s. value of the sum of the voltages across the measuring winding and across the resistor R;

U_2 is the r.m.s. value of the difference of the above voltages;

N_1 is the number of turns of the exciting winding of the measuring coil;

N_3 is the number of turns of the measuring winding of the measuring coil;

R is the value of current-measuring resistor.

B.5 Mesure d'impulsion et précision

Dans le cas de mesures d'impulsions, la fréquence de répétition d'impulsion f_p est choisie en tenant compte du temps de reprise. Dans ce cas, il est préférable d'exprimer la perte de puissance en termes d'énergie par cycle, $E = (u \times i)/f_p$. Pour une amplitude et une durée d'impulsion de données, E est indépendant de f_p et en général, $P = E \times f_p$.

Pour cette méthode de mesure, la précision résultante à ± 5 % peut être obtenue pour la détermination de la perte de puissance si les prescriptions de 4.4 sont respectées.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2000

B.5 Pulse measurement and accuracy

In the case of pulse measurements, the pulse repetition frequency f_p is chosen by consideration of recovery time. It is therefore preferable, in this case, to express the power loss in terms of energy per cycle, $E = (u \times i)/f_p$. For a given pulse amplitude and pulse duration, E is independent of f_p and in general, $P = E \times f_p$.

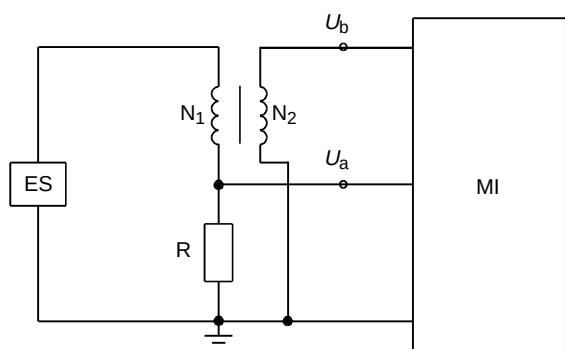
For this method, the resultant accuracy within $\pm 5\%$ can be obtained for the power loss determination if the requirements of 4.4 are met.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2000

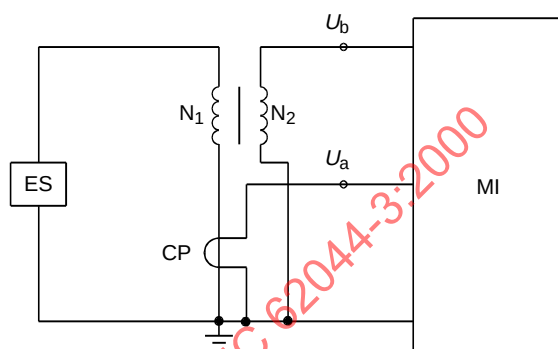
Annexe C (informative)

Méthodes de multiplication pour la mesure de la perte de puissance – Circuit de base et procédures de mesure liées

Circuits de base

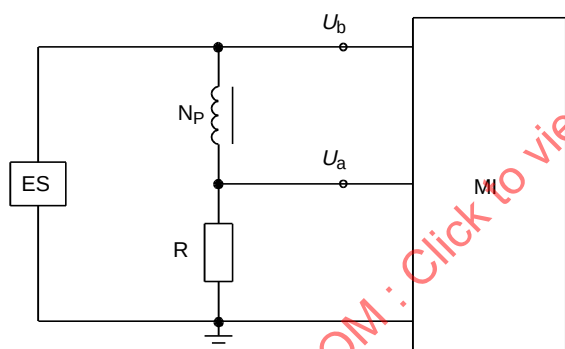


IEC 2779/2000



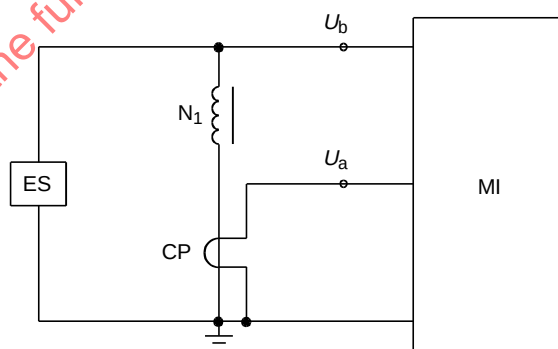
IEC 2780/2000

Circuit a)



IEC 2781/2000

Circuit b)



IEC 2782/2000

Circuit c)

Circuit d)

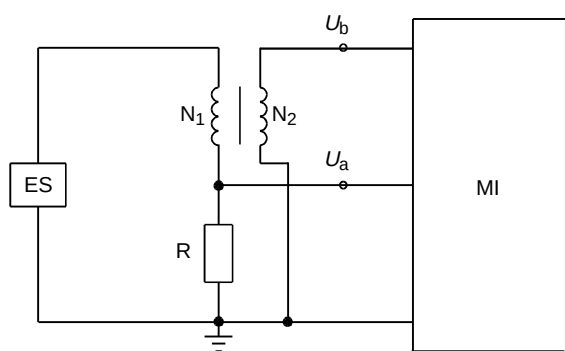
Connexions et alimentations

- Circuit a) deux enroulements, d'excitation N_1 et de détection de tension N_2 , avec résistance non réactive de détection de courant R ;
- Circuit b) deux enroulements, d'excitation N_1 et de détection de tension N_2 , avec sonde de courant CP ;
- Circuit c) enroulement d'excitation simple N_1 avec résistance non réactive à détection de courant R et entrées flottantes;
- Circuit d) enroulement d'excitation simple N_1 avec sonde de courant CP .

Annex C (informative)

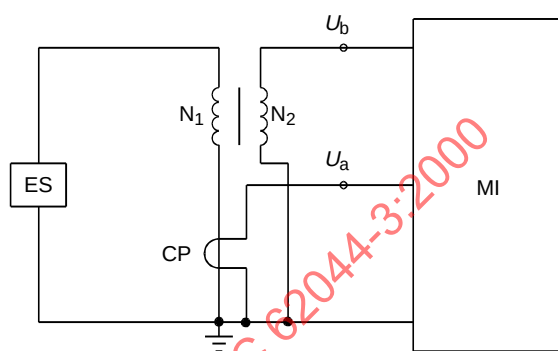
Multiplying methods for the measurement of power loss – Basic circuits and related measurement procedures

Basic circuits



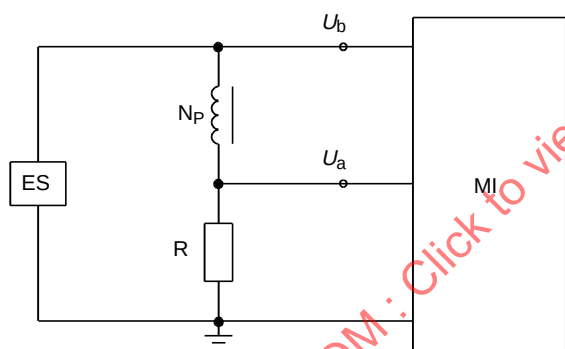
IEC 2779/2000

Circuit a)



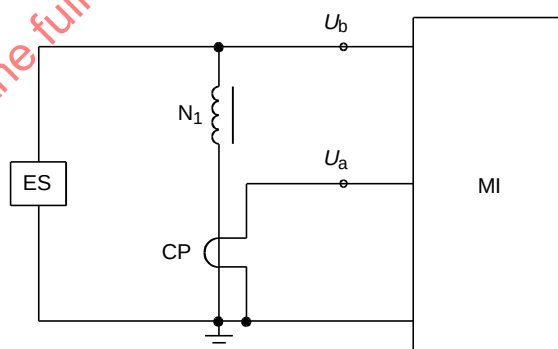
IEC 2780/2000

Circuit b)



IEC 2781/2000

Circuit c)



IEC 2782/2000

Circuit d)

Connections and supplies

- Circuit a) two windings, excitation N_1 and voltage sensing N_2 with current sensing non-reactive resistor R ;
- Circuit b) two windings, exciting N_1 and voltage sensing N_2 with current probe CP ;
- Circuit c) single excitation winding N_1 with current sensing non-reactive resistor R and floating inputs;
- Circuit d) single excitation winding N_1 with current probe CP .

Composants

ES	source d'excitation;
R	résistance non réactive à détection de courant à travers laquelle la tension U_a , proportionnelle au courant I passant à travers l'enroulement d'excitation N_1 , est mesurée;
MI	instrument de mesure qui remplit la fonction d'acquisition et traitement, y compris la multiplication des tensions U_a et U_b ;
N_1	enroulement d'excitation;
N_2	enroulement de détection de tension;
U_a	chute de tension proportionnelle au courant I passant à travers l'enroulement d'excitation;
U_b	chute de tension à travers soit l'enroulement N_1 soit l'enroulement N_2 ; la valeur moyenne de U_b est proportionnelle à l'induction dans le noyau (voir 4.2.2);
U_a et U_b	symbolisent les valeurs instantanée, moyenne ou efficace des tensions selon la méthode spécifique de multiplication.

NOTE 1 La source d'excitation ES comprend normalement un générateur et un amplificateur de puissance; un adaptateur d'impédance peut également être ajouté. La source d'excitation ES et l'instrument de mesure MI peuvent être intégrés dans une unité (système) de mesure, souvent à commande informatique.

NOTE 2 Il convient que la sonde de courant CP, si elle est utilisée, soit un dispositif linéaire, c'est-à-dire qu'elle ne génère pas d'harmoniques et qu'elle soit conforme aux stipulations de 4.4.7.

Figure C.1 – Circuits de base pour les méthodes par multiplication

C.1 Prescriptions

Il est recommandé que les circuits et l'équipement de mesure satisfassent aux prescriptions de 4.4.

C.2 Bobine de mesure

Il est recommandé de respecter les prescriptions de 4.2.

C.3 Précision

La précision maximale d'un équipement d'essai est une fonction complexe qui dépend des instruments de mesure et des autres caractéristiques des conditions et de l'équipement de mesure; il n'est donc pas toujours possible d'indiquer la précision absolue qui peut être atteinte par un instrument de multiplication donné d'un système dans toutes les conditions de mesure.

Les erreurs d'amplitude et de mesure de phase qui influencent fortement la précision de la mesure de la perte de puissance peuvent être une combinaison de facteurs liés aux erreurs suivantes:

- erreurs résiduelles après étalonnage;
- erreurs de norme d'étalonnage;
- erreur de réglage entre deux voies de mesure (amplitude et phase);
- non-linéarité d'un instrument (par exemple amplificateur, mélangeur, convertisseur A-N, transformateur de courant);
- erreur de fréquence;
- précision des réglages (par exemple densité de flux);
- erreurs de calculs;
- etc.

Components

ES	excitation source;
R	non-reactive current sensing resistor across which the voltage U_a , proportional to the current I flowing through the exciting winding N_1 , is measured;
MI	measuring instrument which fulfills the function of acquiring and processing including the multiplication of the voltages U_a and U_b ;
N_1	the excitation winding;
N_2	the voltage sensing winding;
U_a	voltage drop proportional to the current I flowing through the exciting winding;
U_b	voltage drop across either the N_1 or N_2 winding; the average value of U_b is proportional to the induction in the core (see 4.2.2);
U_a and U_b	symbolize the instantaneous, average or r.m.s. values of the voltages, depending on the specific multiplying method.

NOTE 1 The exciting source ES normally includes generator and power amplifier; an impedance matching adapter may also be added. Exciting source ES and measuring instrument MI may be integrated into one, often computer controlled, measuring unit (system).

NOTE 2 The current probe CP, if used, should be a linear device i.e. not to generate harmonics and should comply with the stipulations of 4.4.7.

Figure C.1 – Basic circuits for multiplying methods

C.1 Requirements

The circuits and measuring equipment used should meet the requirements of 4.4.

C.2 Measuring coil

The requirements of 4.2 should be met.

C.3 Accuracy

The ultimate accuracy of test equipment is a complex function dependent upon measuring instruments and other characteristics of the measuring conditions and equipment; it is therefore not always possible to state the absolute accuracy that is attainable by a given multiplying instrument of a system at all measuring conditions.

Amplitude and phase measurement errors influencing strongly the accuracy of the power loss measurement can be a combination of factors related to the following errors:

- residual errors after calibration;
- errors of calibration standard;
- tracking error between two measurement channels (amplitude and phase);
- non-linearity of the instrument (for example, amplifier, mixer, A-D converter, current transformer);
- frequency error;
- accuracy of settings (for example, of flux density);
- calculation errors;
- etc.

Il convient de faire référence aux instructions du fabricant qui accompagnent l'instrument en ce qui concerne les erreurs susceptibles d'intervenir et leur correction particulièrement pour les connexions de circuit et les procédures d'étalonnage.

Pour réduire les erreurs, les précautions de l'article 4 doivent être strictement observées et harmonisées avec les capacités des instruments de multiplication et les limites d'erreur correspondant aux plages de mesure de l'instrument.

C.4 Méthode par appareil de mesure V-A-W (volt-ampère-watt)

Les tensions mesurées sont multipliées en interne dans l'appareil de mesure V-A-W. L'appareil de mesure V-A-W détermine la moyenne temporelle du produit des tensions qui est proportionnelle à la perte de puissance dans le noyau, P .

Calcul

La perte de puissance en watts (W) est donnée par la formule suivante:

$$P = \overline{u \cdot i} = K \cdot \alpha$$

où

$\overline{u \cdot i}$ est la moyenne temporelle des valeurs instantanées de perte de puissance dans le noyau;

α est la lecture de l'appareil de mesure V-A-W;

K est la constante de l'instrument.

C.5 Méthode par analyseur d'impédance

L'analyseur d'impédance détermine les composantes vectorielles des tensions mesurées et calcule la résistance parallèle équivalente R_p .

Calcul

La perte de puissance P mesurée en watts (W) est donnée par:

$$P = U_{\text{eff}}^2 / R_p$$

où U_{eff} est la valeur efficace de la tension mesurée à travers l'enroulement d'excitation.

NOTE Bien que la perte de puissance mesurée soit calculée par l'intermédiaire de la résistance parallèle équivalente R_p , le calcul de cette perte peut être également liée à une multiplication directe des signaux de courant et de tension. C'est pourquoi la perte de puissance mesurée P qui est égale à U_{eff}^2 / R_p peut également être exprimée comme suit:

$$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi.$$

C.6 Méthode par numérisation

Les tensions $U_a(t)$ et $U_b(t)$, selon la figure C.1, sont échantillonnées en valeurs U_{ai} et U_{bi} par un numériseur, où i se réfère à l'échantillon i_{th} du signal ($i = 1, 2, 3, \dots$).

Les valeurs de la perte de puissance instantanée en chaque point de l'échantillon i dans le cycle d'échantillon sont proportionnelles au produit $U_{ai} \times U_{bi}$.