

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Cores made of soft magnetic materials – Measuring methods –
Part 3: Magnetic properties at high excitation level**

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Cores made of soft magnetic materials – Measuring methods –
Part 3: Magnetic properties at high excitation level**

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.030, 29.100.10

ISBN 978-2-8322-7172-8

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and symbols.....	8
3.1 Terms and definitions.....	8
3.2 Symbols.....	12
4 General requirements for measurements at high excitation level	13
4.1 General statements.....	13
4.1.1 Relation to practice.....	13
4.1.2 Core effective parameters and material properties.....	13
4.1.3 Reproducibility of the magnetic state	13
4.2 Measuring coil	13
4.2.1 General	13
4.2.2 Number of turns.....	14
4.2.3 Single winding and double winding	14
4.3 Mounting of cores consisting of more than one part.....	15
4.4 Measuring equipment.....	15
5 Specimens.....	18
6 Measuring procedures	18
6.1 General procedure	18
6.2 Measuring method for the effective amplitude permeability	19
6.2.1 Purpose.....	19
6.2.2 Principle of the measurement	19
6.2.3 Circuit and equipment.....	19
6.2.4 Measuring procedure	19
6.2.5 Calculation	20
6.3 Measuring methods for the power loss	20
6.3.1 Purpose.....	20
6.3.2 Methods and principles of the measurements	20
7 Information to be stated.....	23
8 Test report.....	24
Annex A (informative) Basic circuits and related equipment for the measurement of amplitude permeability	25
Annex B (informative) Root-mean-square method for the measurement of power loss – Example of a circuit and related procedure	27
B.1 Method of measurement	27
B.2 Measuring coil	27
B.3 Measuring equipment.....	28
B.4 Measuring procedure	28
B.5 Pulse measurement and accuracy.....	29
Annex C (informative) Multiplying methods for the measurement of power loss – Basic circuits and related measurement procedures	30
C.1 Basic circuits	30
C.2 Requirements	31
C.3 Measuring coil	31

C.4	Accuracy	31
C.5	V-A-W (volt-ampere-watt) meter method	32
C.6	Impedance analyzer method	32
C.7	Digitizing method	32
C.8	Vector spectrum method	33
C.9	Cross-power method	33
Annex D (informative)	Reflection method for the measurement of power loss – Basic circuit and related measurement procedures	34
D.1	Basic circuit	34
D.2	Requirements	34
D.3	Measuring coil	34
D.4	Measuring procedure and accuracy	35
Annex E (informative)	Calorimetric measurement methods for the measurement of power loss	36
E.1	Basic circuit	36
E.2	Requirements	37
E.3	Measuring coil	37
E.4	Accuracy	37
E.5	Measurements at thermal equilibrium	37
E.5.1	General	37
E.5.2	Measurement across calibrated thermal resistance	37
E.5.3	Measurement by matching the temperature rise in the core and resistor	38
E.6	Measurements at non-thermal equilibrium	38
Annex F (normative)	Magnetic properties under pulse condition	39
F.1	Object	39
F.2	Measurement methods	39
F.3	Principle of the methods	39
F.4	Specimens	39
F.5	Measuring coil	39
F.6	Measuring equipment	40
F.7	Measuring procedure	41
F.7.1	General	41
F.7.2	Measurement of pulse inductance factor and magnetizing current	42
F.7.3	Measurement of the non-linearity of the magnetizing current	43
F.8	Calculation	44
Annex G (informative)	Examples of circuits for pulse measurements	46
Bibliography		47
Figure 1	– Pulse excitation without biasing field	10
Figure 2	– Pulse excitation with biasing field	10
Figure A.1	– Basic circuits for the measurement of amplitude permeability	26
Figure B.1	– Example of a measuring circuit for the RMS method	27
Figure C.1	– Basic circuits for multiplying methods	31
Figure D.1	– Basic circuit	34
Figure E.1	– Basic circuit and related measurement procedures – Measurement set-up	36
Figure F.1	– Voltage pulse parameters	42
Figure F.2	– Typical measuring waveforms	43

Figure F.3 – Non-linearity of magnetizing current.....	44
Figure G.1 – Measurement without bias and with single pulses.....	46
Figure G.2 – Measurement with bias and with repeated pulses	46
Table 1 – Some multiplying methods and related domains of excitation waveforms, acquisition, processing	21

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 62044-3 has been prepared by IEC technical committee 51: Magnetic components, ferrite and magnetic powder materials. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2000. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) addition of Annex F and Annex G.

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

Draft	Report on voting
51/1426/CDV	51/1439/RVC

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

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

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

A list of all parts in the IEC 62044 series, published under the general title *Cores made of soft magnetic materials – Measuring methods*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023

INTRODUCTION

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

IEC 62044-1: Generic specification

IEC 62044-2: Magnetic properties at low excitation level

IEC 62044-3: Magnetic properties at high excitation level

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023

CORES MADE OF SOFT MAGNETIC MATERIALS – MEASURING METHODS –

Part 3: Magnetic properties at high excitation level

1 Scope

This part of IEC 62044 specifies 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 document can cover the measurement of magnetic properties for frequencies ranging practically from direct current 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 document 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 magnetic flux density and field strength waveforms with only slightly degraded accuracy.

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

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

3 Terms, definitions and symbols

3.1 Terms and definitions

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

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

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

3.1.1**effective amplitude permeability** μ_{ea}

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

3.1.2**maximum effective amplitude permeability** $\mu_{ea \max}$

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

3.1.3**excitation**

either magnetic flux density or field strength for which the waveform and amplitude both remain within the specified tolerance

Note 1 to entry: When the magnetic flux density (field strength) mode of excitation is chosen, the resultant waveform of field strength (magnetic flux density) can 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) or at which the power loss results in a noticeable temperature rise (particularly at high frequencies), or both

3.1.5**exciting winding**

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

3.1.6**voltage sensing winding**

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

3.1.7**measuring winding**

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

3.1.8**power loss**

power absorbed by the core

3.1.9**pulse excitation without biasing field**

excitation in which a core is energized by a voltage pulse, from a remanent flux density to a higher value of flux density in the same direction, and in which the core recovers to the same remanent flux density

Note 1 to entry: The excursion in the B - H plane associated with such a pulse is shown in Figure 1.

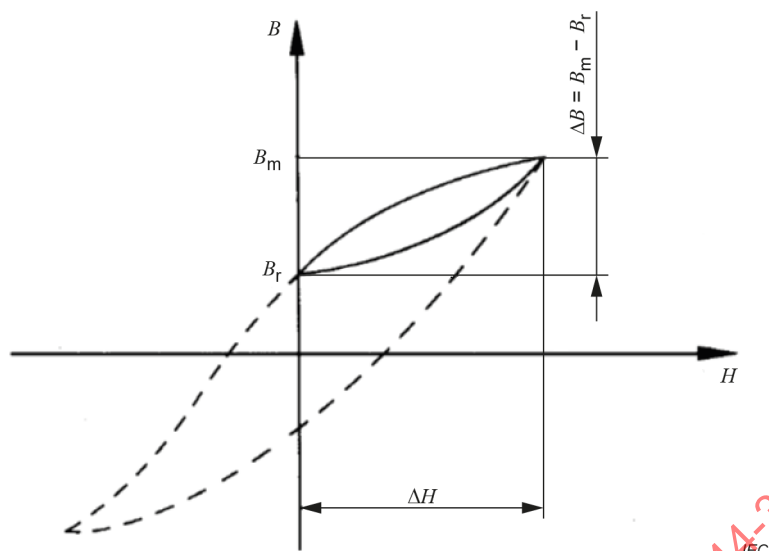


Figure 1 – Pulse excitation without biasing field

Note 2 to entry: If the back-e.m.f. during recovery is limited only by the time constant of the test circuit, then the magnetizing current decays exponentially.

Alternatively the back-e.m.f. can be limited to a constant value, for example by returning the energy via a secondary winding to a voltage source; then the magnetizing current decay is approximately linear. The latter method can prevent excessively high back-e.m.f. and high rates of change of flux. The distinction is mainly relevant to loss measurements.

3.1.10

pulse excitation with biasing field

excitation in which a core is energized by a voltage pulse, from a value of the flux density determined by a biasing field to a flux density in the opposite direction, and in which the core recovers to the same value determined by the biasing field

Note 1 to entry: The excursion in the B - H plane associated with such a pulse is shown in Figure 2.

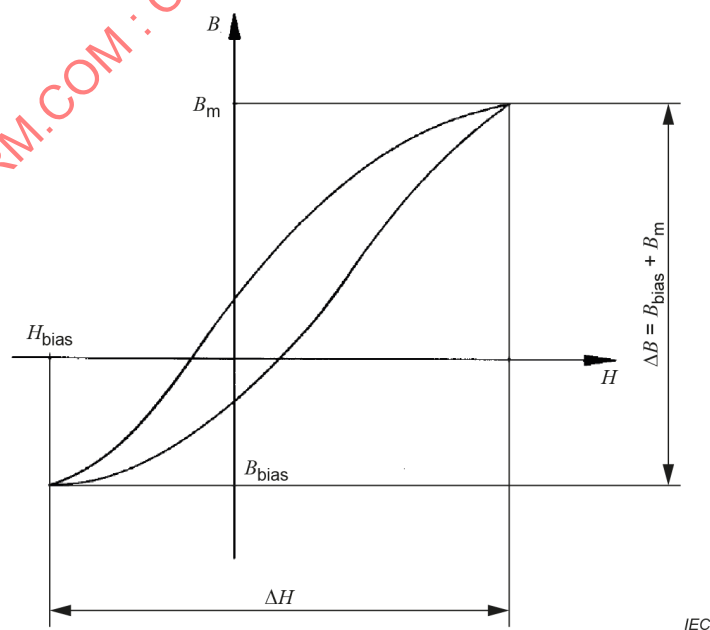


Figure 2 – Pulse excitation with biasing field

Note 2 to entry: See Note to entry 2 of 3.1.9.

3.1.11 pulse permeability

μ_p

relative permeability obtained from the change of flux density and the corresponding change of the field strength when either quantity is varying in an arbitrary form between stated limits:

$$\mu_p = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta H}$$

SEE: Figure 1 and Figure 2.

Note 1 to entry: The value of the pulse permeability depends strongly on the limits of the flux density or field strength excursions; it is not necessary for these limits to be symmetrical with respect to zero.

Note 2 to entry: Often pulse permeability refers to the special case of square voltage pulses being applied to an exciting winding; the flux density waveform is then approximately triangular.

3.1.12 pulse amplitude

U_m

maximum instantaneous value which an ideal voltage pulse would have with respect to the steady value of the voltage between pulses

Note 1 to entry: An ideal pulse is derived from an actual voltage pulse by ignoring unwanted or non-pertinent phenomena such as overshoot (see Figure 1).

3.1.13 pulse duration

t_d

time interval during which the instantaneous value of the pulse exceeds 50 % of the pulse amplitude

$$L_p = \frac{U_m}{\Delta i_m / t_d}$$

where

L_p is the pulse inductance

Δi_m is the total change in i_m during the pulse

SEE: Figure F.1.

Note 1 to entry: For unidirectional drive pulses $\Delta i_m = \hat{i}_m$.

3.1.14 pulse inductance factor

A_{LP}

pulse inductance divided by the square of the number of turns of the test coil

$$A_{LP} = \frac{L_p}{N^2}$$

3.1.15

voltage-time product limit

$(U \cdot t)_{\text{lim}}$

specified limit of the product of the amplitude of a voltage pulse and the time elapsed from the start of the pulse

Note 1 to entry: Within this limit the non-linearity of the magnetizing current through the measuring coil placed on the core should not exceed a specified value.

3.1.16

non-linearity (with time)

ratio of the actual instantaneous value of a characteristic at a time t to the value reached by the extrapolated linear portion of its graph versus time, at the same instant

SEE: Figure F.3.

3.1.17

pulse repetition rate

frequency of recurrence of the pulses in a periodic sequence of pulses

3.2 Symbols

All the formulae in this document 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 magnetic flux density 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	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	permeability of vacuum: approximately $4\pi \times 10^{-7}$ H/m
φ	phase shift
ω	angular frequency = $2\pi f$

NOTE 1 The 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 text of this document, the term flux density stands for the shortened term of magnetic flux density.

4 General requirements 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 magnetic flux density $\hat{B}_e$ 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 the outer to the 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 General

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

For measurement on toroid using coils, the turns of the measuring coil shall be distributed in such a way as to keep both the stray capacitance and the stray field as low as necessary for sufficiently accurate measurement.

For measurements made on cores assembled around a coil, the shape of the measuring coil shall correspond to that of the coils used for normal application of the core and its influence on the variation of the inductance to be measured shall be negligible.

Unless otherwise specified, the test coil complete with coil former or encapsulation, or both, shall be positioned in a coaxial way to the limb which it embraces, and the side of the coil at which the start of the winding is located shall be lightly pressed into contact with the core at one end of this limb as follows:

- for a symmetrical core, the coil assembly shall contact the core at either one end or the other;
- for a core with an air-gap that is asymmetrical because the gap has been made by grinding away material on the leg of one core half and not the other, the coil assembly shall make end contact to the half of the core that has not been ground away to create the gap.

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

4.2.2 Number of turns

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.

When winding a sharp-edge core, the wire insulation should not rupture and, in the case of stranded wire, the strands should not break.

4.2.3 Single winding and double winding

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 magnetic flux density 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 the input(s) of measuring instruments.

When a 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 is galvanically separated from the voltage and the current measuring instruments, for example, to avoid a floating or DC connection to their inputs.

When the exciting and voltage sensing windings are used, their magnetic coupling coefficient shall be as close to 100 % as possible.

The voltage necessary for calculation of the magnetic flux density in the core is typically measured across a voltage sensing winding that is separate from the current-carrying (exciting) winding. When measuring core losses, ohmic losses in the voltage sensing winding do not affect the calculation, but ohmic losses in the current-carrying (exciting) winding shall be excluded from the core loss calculation.

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

4.3 Mounting of cores consisting of more than one part

A ferrite core set consisting 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 with regard 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 a 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.

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 IEC 62044-1:2002, Clause 3) for a long enough time to allow any variation of stress effects, due to clamping, gluing or taping, to become negligible.

4.4 Measuring equipment

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

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

4.4.2 To ensure the magnetic flux density (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.

4.4.3 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 Annex F shall be met.

4.4.4 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.

4.4.5 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.

4.4.6 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.

4.4.7 The accuracy of the voltmeters or voltage sensing instruments, determined for the calibrating sinusoidal waveform, shall be within $\pm 0,5$ % for RMS 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 RMS, average and peak values of sinusoidal waveforms, a true RMS sensing voltmeter of accuracy within ± 1 % is recommended. The average and peak values are obtained by multiplying the indicated RMS values by the following factors: average value = $0,900 \times \text{RMS value}$, peak value = $1,414 \times \text{RMS value}$;
- to determine the RMS, 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 RMS value of the measured waveform.

4.4.8 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 can moderate the above thermal variations.

The inductance L_R of the resistor R over the frequency range specified in 4.4.5 shall not exceed a value

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

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 4.4.5;

$\delta \hat{U}_R$ 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 .

For 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 4.4.5. 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.

4.4.9 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 $\Delta\varphi$ (radian) between the channels designed as equiphase to lead the signals corresponding to the magnetic flux density and field strength over the frequency range defined in 4.4.5 shall not exceed a value

$$\Delta\varphi = \pm \frac{\delta P(\Delta\varphi)}{Q}$$

where

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

$Q = \frac{\omega \hat{B}_e \hat{H}_e}{2P_v}$ 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 magnetic flux density 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.

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 shall be used in the calculation of each harmonic frequency.

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

4.4.10 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 4.4.5.

4.4.11 Measures or calibration, or both, 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.

4.4.12 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 4.4.12. All measuring operations such as 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 the magnetic flux density $\hat{B}_e$ and to the peak value of the field strength $\hat{H}_e$ at which the measurement has to be performed are calculated in accordance with 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;

– for $\hat{H}_e$ excitation:

$$\hat{U}_R = \frac{R \cdot l_e \cdot \hat{H}_e}{N_1}$$

where

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

N_1 is the number of turns of the excitation winding 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 magnetic flux density $\hat{B}_e$, the voltage, corresponding to $\hat{B}_e$, can be measured using also RMS or peak reading voltmeters or instruments. The respective RMS, U_{rms} , and peak, $\hat{U}$, values of this voltage are calculated as

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

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

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 $\hat{I} = \hat{H}_e$.

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

6.1.4 The core is conditioned by the electrical method in accordance with IEC 62044-1:2002, 5.2a), 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.

To keep the correct excitation waveform within all the measuring conditions, it should be under control. In the case of the magnetic flux density 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, the respective complementary specifications of Annex F shall be considered.

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 magnetic flux density 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 magnetic flux density can be determined.

6.2.2 Principle of the measurement

The magnetic flux density 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 magnetic flux density or field strength, frequency and temperature.

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 magnetic flux density and field strength waveforms are not critical in the case of measurement of the amplitude permeability, it will not be necessary to rigorously meet the requirements of 4.4.2 and 4.4.3.

If the amplitude permeability has to be determined for the peak values of fundamental components of the waveforms of the magnetic flux density 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 applied.

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 magnetic flux density to be measured at the specified field strength or, inversely, the field strength at the specified magnetic flux density, 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

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

or if the current probe is used instead of resistor R

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

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 in 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 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

6.3.2.1 General

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

6.3.2.2 Root-mean-square method (RMS 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 RMS 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 RMS voltmeter. The difference of the squares of these RMS voltages is proportional to the power loss in the core.

The related measuring procedure is given in Annex B.

6.3.2.3 Multiplying methods

6.3.2.3.1 General

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

The voltage related to the magnetic flux density 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			Clause of Annex C
	useable excitation waveform	acquisition	processing	
V-A-W meter	Sinusoidal	Time	Time	C.5
Impedance analyzer	Sinusoidal	Not applicable	Not applicable	C.6
Digitizing	Arbitrary	Time	Time	C.7
Vector spectrum	Arbitrary	Frequency	Frequency	C.8
Cross-power	Arbitrary	Time	Frequency	C.9

The related measuring procedures are given in Annex C.

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

This method is restricted to sinusoidal excitation as defined in 4.4.3.

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.

6.3.2.3.3 Impedance analyzer method

This method is restricted to sinusoidal excitation as defined in 4.4.3.

The impedance analyzer determines at the fundamental frequency the vector components of the voltages related respectively to the magnetic flux density 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 magnetic flux density divided by the parallel resistance gives the power loss in the core.

6.3.2.3.4 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.

6.3.2.3.5 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 analyzer. 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.

6.3.2.3.6 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 fast Fourier transform (FFT). 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.

6.3.2.4 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;
- more suitable to the magnetic flux density mode of excitation than the field strength mode of excitation.

The measurement is made using a reflection meter 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 magnetic flux density 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 can decrease the accuracy of the measurement.

The related measuring procedures are given in Annex D.

6.3.2.5 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 document, the following information shall be stated:

- 1) measuring frequency(ies);
- 2) temperature(s) of the measurement(s) with tolerance(s);
- 3) mode of excitation: magnetic flux density 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) 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 start of magnetic conditioning;
- 14) degree of accuracy;
- 15) results to be presented, for example a single result; a set of single results or functional characteristics, such as power loss as a function of temperature at given values of effective magnetic flux density $\hat{B}_e$ and at a given frequency; or amplitude permeability as a function of effective magnetic flux density at a given frequency and temperature.

When the measuring or test conditions (items 1) to 6)), or both, relevant to core material properties are chosen, the specifications given in IEC 60401-3:2015, Clause 3 and Clause 4, and in IEC 61332:2016, 4.3, should be considered.

NOTE 1 Item 10) is not required with regard to the amplitude permeability measurement.

NOTE 2 If necessary, more information can be required in detailed specifications.

8 Test report

The test report shall contain as necessary:

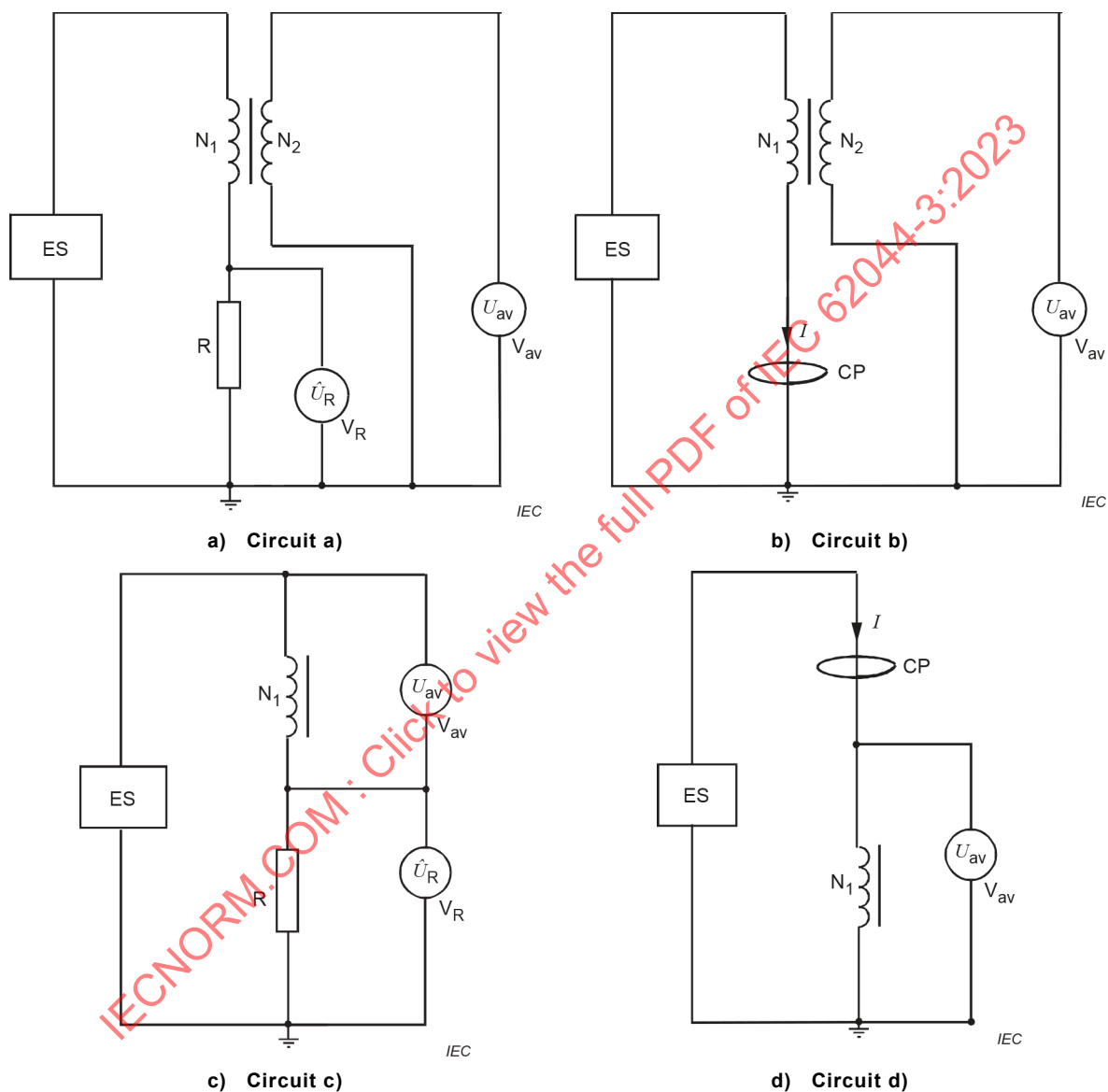
- a) the statement of the test conformity with this document;
- b) the type, dimensions, material and serial number or mark of the test specimen(s);
- c) the sample size;
- d) the parameters measured;
- e) the test method used and its accuracy;
- f) the test conditions (Clause 7, item 1) to item 6)).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023

Annex A (informative)

Basic circuits and related equipment for the measurement of amplitude permeability

The basic circuits are shown in Figure A.1.



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 .

Components

ES	exciting source containing usually a generator and power amplifier;
R	resistor across which the voltage proportional to the current I flowing in 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	exciting and voltage sensing windings, respectively.

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

The circuits and equipment used shall 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 62044-3:2023

Annex B (informative)

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

B.1 Method of measurement

In the RMS method, a switch S is used to connect the RMS 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 RMS 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 can result when the excitation is too abruptly turned or the contact position of the switch S changed, or both.

The requirements of 4.4.2, 4.4.4, 4.4.9 and 4.4.10 shall be met.

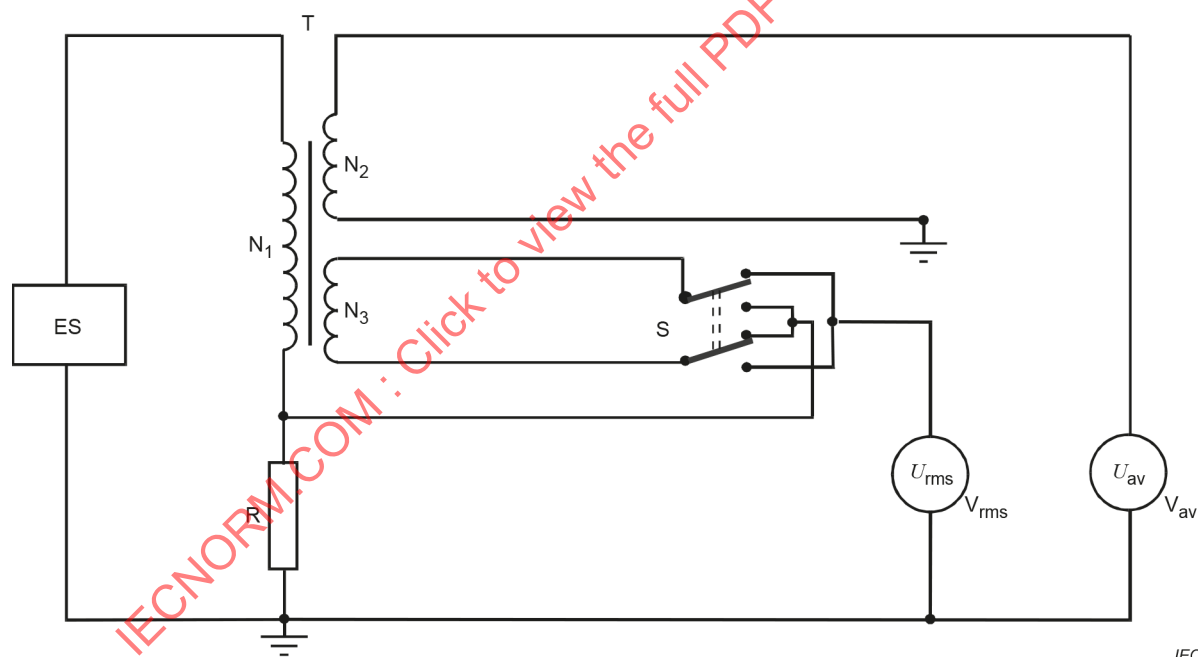


Figure B.1 – Example of a measuring circuit for the RMS method

B.2 Measuring coil

In the RMS 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 Measuring equipment

The excitation source ES shall meet the requirements specified in 4.4.3 and 4.4.4. For rectangular voltage pulses, with or without bias, the exciting source shall meet the requirements of Clause F.6. If the core is to be excited by waveforms other than the sinusoidal or rectangular ones, requirements modelled on those of Clause F.6 shall 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 RMS voltmeter or other instrument performing that function. V_{av} is an average value sensing voltmeter or instrument. Both V_{rms} and V_{av} shall meet the requirements of 4.4.5, 4.4.6 and 4.4.7.

Other requirements of 4.4 shall also be met.

B.4 Measuring procedure

The general procedure of 6.1 should be met. In this method, indications of the RMS 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.

The calculation is as follows:

The core power loss is given by

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

where

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

U_1 is the RMS value of the sum of the voltages across the measuring winding and across the resistor R;

U_2 is the RMS 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 the current-measuring resistor.

B.5 Pulse measurement and accuracy

In the case of pulse measurements, the pulse repetition frequency f_p is chosen by consideration of the recovery time. It is therefore preferable, in this case, to express the power loss in terms of energy per cycle, $P = \frac{\overline{ui}}{f_p}$. For a given pulse amplitude and pulse duration, E is independent of f_p and in general, $P = E \cdot f_p$.

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.

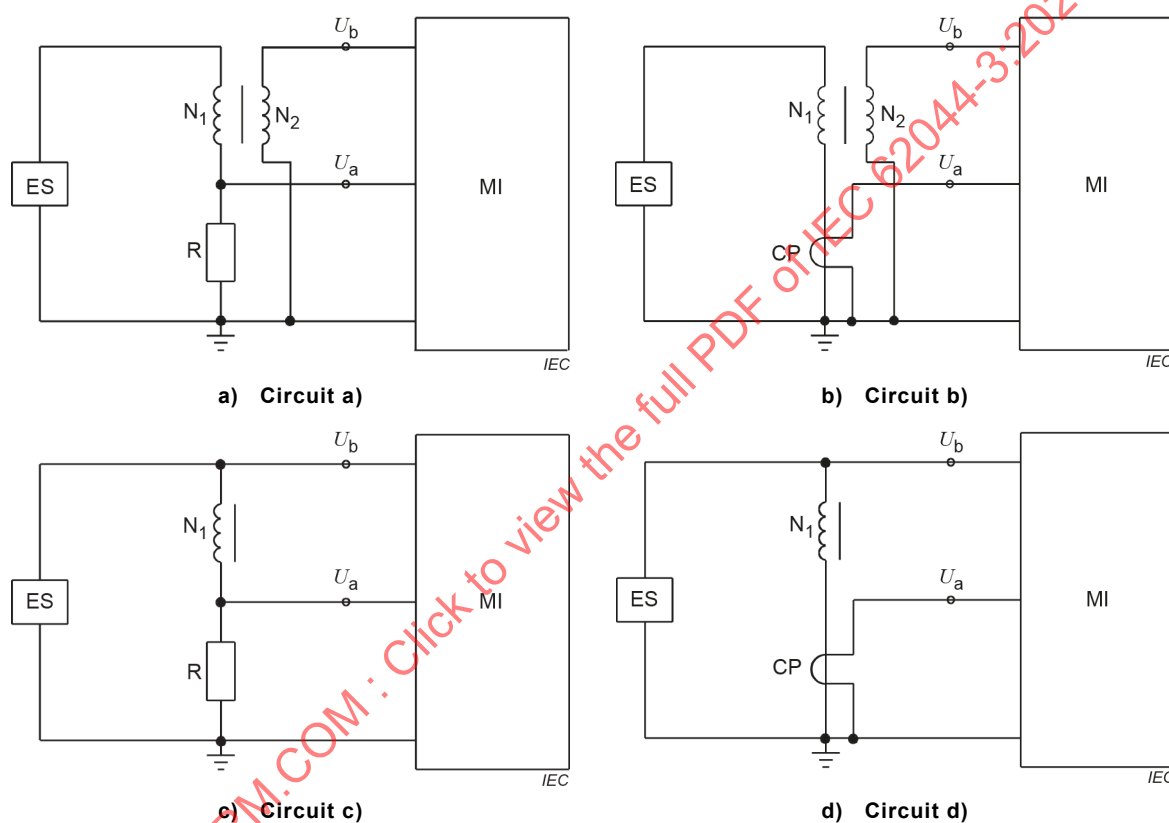
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023

Annex C (informative)

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

C.1 Basic circuits

The basic circuits are shown in Figure C.1.



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.

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 excitation winding;
- N_2 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 magnetic flux density in the core (see 4.2.2);
U_a and U_b	symbolize the instantaneous, average or RMS values of the voltages, depending on the specific multiplying method.

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

The current probe CP, if used, should be a linear device, i.e. that will not generate harmonics and shall comply with the requirements of 4.4.8.

Figure C.1 – Basic circuits for multiplying methods

C.2 Requirements

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

C.3 Measuring coil

The requirements of 4.2 shall be met.

C.4 Accuracy

The ultimate accuracy of the 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.

Reference should be made to the manufacturer's instructions accompanying the instrument for guidance on errors that can occur and their correction, particularly with respect to circuit connections and the calibration procedure.

To minimize the errors, the requirements of Clause 4 shall be conscientiously observed and harmonized with the multiplying instrument capabilities and with the error limits corresponding to particular measuring ranges of the instrument.

C.5 V-A-W (volt-ampere-watt) meter method

The measured voltages are multiplied internally in the V-A-W meter. The V-A-W meter determines the time average of the product of the voltages which is proportional to the power loss in the core, P .

The calculation is as follows:

The power loss in watts (W) is given by the following formula:

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

where

$(\overline{u \cdot i})$ is the time average of the instantaneous values of the power loss in the core;

α is the reading of the V-A-W meter;

K is the instrument constant.

C.6 Impedance analyzer method

The impedance analyzer determines the vector components of the measured voltages and calculates the equivalent parallel resistance R_p .

The calculation is as follows:

The measured power loss P in watts (W) is given by

$$P = \frac{U_{rms}^2}{R_p}$$

where

U_{rms} is the RMS value of the measured voltage across the exciting winding.

NOTE Although the measured power loss is calculated via the equivalent parallel resistance R_p , the calculation of this loss can also be related to a direct multiplication of the current and voltage signals. Therefore the measured power loss P which is equal to U_{rms}^2/R_p can also be expressed as

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

C.7 Digitizing method

The voltages $u_a(t)$ and $u_b(t)$, according to Figure C.1, are sampled into values U_{ai} and U_{bi} by a digitizer, where i refers to the i^{th} sample of the signal ($i = 1, 2, 3, \dots$).

The instantaneous power loss values at each sample point i within the sample cycle is proportional to the product $U_{ai} \cdot U_{bi}$.

The calculation is as follows:

With n samples for the measuring cycle the measured power loss is calculated by

$$P = \alpha \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (U_{ai} \cdot U_{bi})$$

where

α is the constant of proportionality, depending on the circuit arrangement.

C.8 Vector spectrum method

The network analyzer measures the RMS values of the fundamental and harmonic voltages U_{ak} and U_{bk} together with the phase angle ϕ_k between these voltages, where k is the k^{th} harmonic number ($k = 1, 2, 3, \dots$).

Calculation

The measured power loss P is given by

$$P = \alpha \cdot \sum_k (U_{ak} \cdot U_{bk}) \cdot \cos \phi_k$$

where

α is the constant of proportionality, depending on the circuit arrangement.

C.9 Cross-power method

The sampling of the voltage is performed as described in the digitizing method. The voltages $\mu_a(t)$ and $\mu_b(t)$ are processed by FFT (fast Fourier transform) in order to obtain the RMS values of the fundamental and harmonic voltages: U_{ak} and U_{bk} , together with the phase angle ϕ_k between these two voltages.

The calculation is as follows:

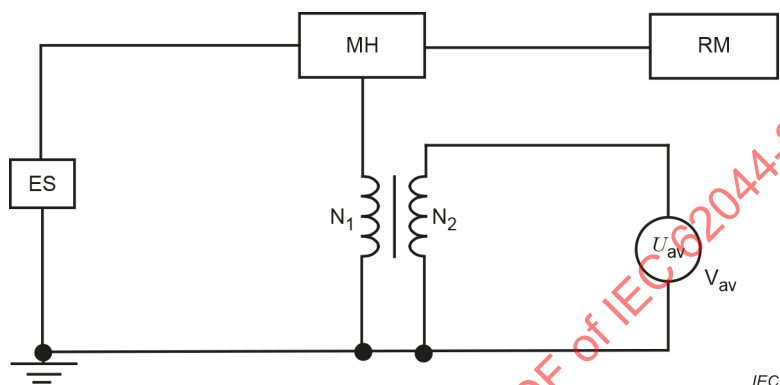
The calculation of the measured power loss is the same as for the vector spectrum method.

Annex D (informative)

Reflection method for the measurement of power loss – Basic circuit and related measurement procedures

D.1 Basic circuit

The basic circuit is shown in Figure D.1.



Components

- ES exciting source containing usually a generator and power amplifier;
- RM reflection meter;
- MH two-channel measurement head;
- V_{av} voltmeter or instrument sensing the average value of the voltage U_{av} .

Figure D.1 – Basic circuit

D.2 Requirements

The circuits and measuring equipment shall meet the requirements of 4.4. If a non-sinusoidal excitation is applied, the reflection meter shall be able to measure the components of the reflected power averaging not less than seven harmonics.

D.3 Measuring coil

The requirements of 4.2 shall be met.

D.4 Measuring procedure and accuracy

The general procedure of 6.1 should be met. The forward and reflected power are read directly from the reflection meter.

The calculation is as follows:

The measured core power loss is given by

$$P = P_F - P_R$$

where

P_F is the forward power;

P_R is the reflected power.

The measurement accuracy depends on such main error factors as

- instrument errors;
- impedance mismatch.

To minimize errors the requirements of Clause 4 shall be conscientiously followed. The measurement accuracy is decreased as the subtraction result $P_F - P_R$ is decreased.

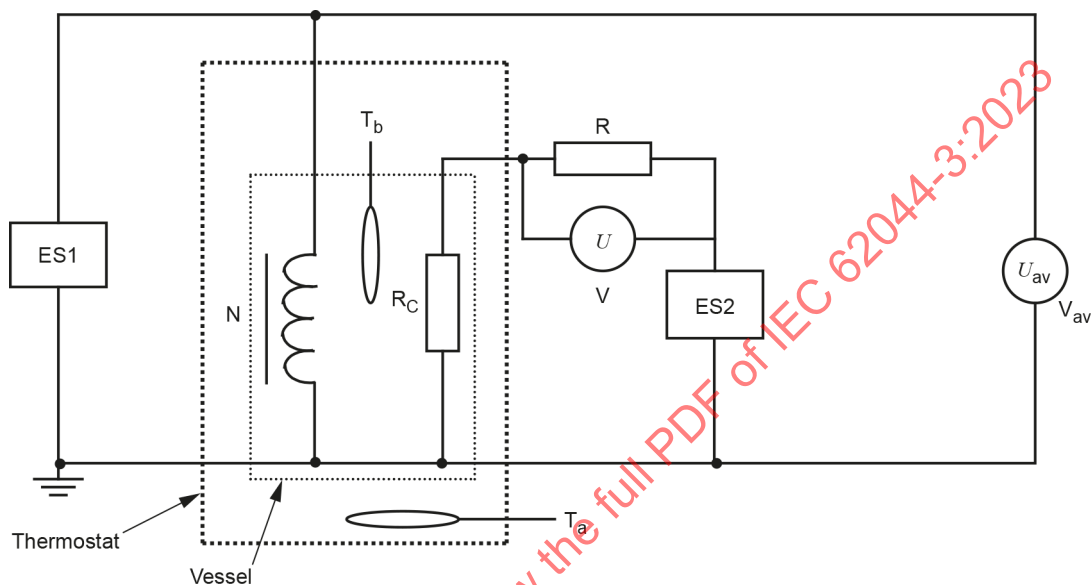
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023

Annex E (informative)

Calorimetric measurement methods for the measurement of power loss

E.1 Basic circuit

The basic circuit is shown in Figure E.1.



IEC

Components

- ES1 excitation source for the measuring coil usually containing a generator and power amplifier;
- ES2 excitation source for the heating resistor R_C usually containing a DC generator and power amplifier;
- R non-reactive current sensing resistor across which the voltage U , proportional to the current I , is measured;
- R_C heating resistor causing a temperature rise of the fluid in the vessel due to the dissipation of a determinable level of power;
- N measuring coil;
- V_{av} voltmeter or instrument sensing the average value of the voltage U_{av} across the measuring coil;
- V voltmeter or instrument sensing the value of the voltage U across R;
- T_a thermostat temperature sensor indicating the thermostat temperature T_a ;
- T_b vessel temperature sensor indicating the vessel temperature T_b .

T_a shall be kept stable, i.e. independent of ambient temperature, during the measurement.

In order to have T_b as close as possible to the temperature of the wound core, it is recommended that a stirrer be used to achieve a homogeneous temperature distribution.

The fluid in the vessel shall have a small thermal capacity and a high enough boiling temperature.

The fluid in the vessel should have a low permittivity and low dielectric loss at measuring frequency(ies) and temperature(s).

**Figure E.1 – Basic circuit and related measurement
procedures – Measurement set-up**

E.2 Requirements

The circuit and measuring equipment shall meet the requirements of 4.4.

E.3 Measuring coil

The general requirements of 4.2 shall be met.

E.4 Accuracy

For this method the resultant accuracy of $\pm 5\%$ can be obtained for power loss determination if the specifications in Figure E.1 are observed and the requirements of 4.4 met.

Temperature measurements should be as precise as possible because errors in the temperature measurements strongly influence the accuracy of the power loss measurement.

E.5 Measurements at thermal equilibrium

E.5.1 General

Measurements of the temperature differences ($T_a - T_b$) are made in a state of thermal equilibrium.

As the final temperature difference, induced either by power dissipation in the ohmic resistor or wound core, settles as a non-linear function of time (due to the combination of thermal resistances and thermal capacitances in the calorimetric measuring system), its measurement can only be made in a state of thermal equilibrium.

The measuring temperature to determine the core losses is not exactly known in advance because the final temperature difference induced by the power loss in the measuring coil is not known in advance.

NOTE If the temperature difference ($T_a - T_b$) tends exponentially with time to a constant value, then the influence of the thermal resistances and capacitances can be represented as an effect caused by a combination of one single (thermal) resistance and (thermal) capacity. For this situation, The temperature difference does not need to be measured only at thermal equilibrium. Measurements can be made at an earlier stage because the curve fitting of this response can be used to estimate the final temperatures of thermal equilibrium.

E.5.2 Measurement across calibrated thermal resistance

The thermal resistance R_{th} between the fluid inside the vessel and the thermostat shall be calibrated prior to the power loss measurement and is given by

$$R_{th} = \frac{\Delta T_c}{P_c}$$

where

ΔT_c is the temperature difference between vessel and thermostat given by ($T_a - T_b$) caused by the power loss in the heating resistor R_c ;

P_c is the supplied power through the heating resistor given by $I^2 R_c$.

The power loss in the wound core can be determined by

$$P = \frac{\Delta T}{R_{th}}$$

where

ΔT is the temperature difference between vessel and thermostat given by $(T_a - T_b)$ caused by the power loss in the wound core;

R_{th} is the previously calibrated thermal resistance.

E.5.3 Measurement by matching the temperature rise in the core and resistor

Since the calibration of the thermal resistance is time-consuming, an alternative method consists of matching ΔT_c to ΔT by adjusting P_c .

The final temperature rise ΔT due to the core loss in the wound core is measured. Subsequently, this value is used as a set point for the final temperature rise ΔT_c due to the supplied power through the heating resistor.

E.6 Measurements at non-thermal equilibrium

The desired measuring temperature is used as a set point. This set point temperature inside the vessel can be caused by:

- a) power loss in the heating resistor only (P_{c1});
- b) power loss in the heating resistor and the excited core (P_{c2}).

By measuring the two levels of supplied power to the heating resistor one can obtain the power loss in the wound core (P) by

$$P = P_{c2} - P_{c1}$$

Annex F (normative)

Magnetic properties under pulse condition

F.1 Object

To provide measuring methods for the core properties which are of importance when using cores under pulse conditions, namely: the pulse inductance factor, or pulse permeability, and the non-linearity of the magnetizing current associated with a specified voltage-time product limit.

F.2 Measurement methods

Refer to 3.1.9 to 3.1.17 for definitions of the terms relating to the measurement methods.

F.3 Principle of the methods

The core is excited by applying square voltage pulses. Two principal methods are possible:

- 1) The pulses are repeated with a suitable repetition frequency. The voltage across the measuring coil is rectified to eliminate the back swing and measured with an average responding voltmeter. The peak magnetizing current is also measured.
- 2) Both the curve of the magnetizing current as a function of time $i_m(t)$, and the loop of the voltage across the inductor integrated with respect to time as a function of the magnetizing current $\int u dt$ versus i_m , are displayed on a properly calibrated oscilloscope. This method may be used for both repeated and single pulses, the display being photographed in the latter case.

The pulse inductance factor or the pulse permeability can be determined by either method; the non-linearity of the magnetizing current associated with a specified voltage-time product limit can only be determined by the second method.

F.4 Specimens

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

F.5 Measuring coil

The number of turns should be specified in relation to the measuring conditions, the equipment used and the accuracy to be obtained. The resistance and the self-capacitance of the measuring coil at the measuring frequency should be as low as is necessary to make the error negligible. The measuring coil should be situated as closely as possible to, and uniformly along, the part or parts of the core as specified, the winding arrangement normally approximating to that used with the core in its application. In the case of a toroidal core, the turns shall be evenly distributed along the circumference.

When it is impossible to make the coil resistance small enough for the applied voltage to approximate to the e.m.f. with sufficient accuracy, then a double winding measuring coil consisting of a voltage winding and a current winding should be used. The voltage winding should have a resistance very much smaller than the impedance of the attached voltmeter and its self-capacitance should be so small that the error it causes is negligible. It should be wound as close to the core as possible and the current winding shall completely cover the voltage winding.

NOTE 1 An electrostatic screen between the two windings can be desirable.

NOTE 2 When winding a coil onto a sharp-edged core, the wire insulation will not be able to rupture.

F.6 Measuring equipment

Any suitable measuring equipment can be used. Examples of appropriate circuits for measurement with exponential recovery are given in Annex G. The following requirements shall be met:

a) Pulse generator

When connected to the coil, the test circuit being adjusted for the appropriate back swing and recovery time, the pulse generator used for these measurements shall supply voltage pulses of the required amplitude, duration and repetition rate and meet the following general requirements:

- 1) when adjusted to a given value, the pulse amplitude shall remain constant within 5 %;
- 2) the power available from the source shall be sufficient to obtain a voltage pulse having a droop not exceeding 10 %;
- 3) the switching shall be fast enough not to affect the rise time and the fall time significantly;
- 4) the overshoot shall not exceed the specified limits.

b) Current measurement

The current through the measuring coil (or its current winding) shall be measured by means of either:

- 1) a current probe which yields a signal proportional to the current within 2 % and which, when connected to the oscilloscope, does not adversely affect the voltage pulse droop; or
- 2) a precision resistor between the test coil and earth which causes a voltage drop not exceeding 1 % of the nominal pulse amplitude and has negligible inductance.

c) Recovery time

For measurement with repeated pulses, the time constant of the measuring circuit shall be such that the recovery time is smaller than the interval between the pulses in order to ensure that the flux in the core returns to its initial value.

d) Voltmeter

When using the average voltmeter method, the voltmeter shall be a Class 1¹ instrument or better and the diode shall be so chosen that it introduces negligible error.

¹ Class index: see IEC 60051-1.

e) Oscilloscope method

When the oscilloscope method is used, the time constant of the voltage integrating circuit shall exceed 100 times the pulse duration or 100 times the effective time constant of the recovery, whichever is the greater, and its phase shift should be as small as possible.

Calibration facilities shall be provided for the display of voltage and current to obtain an overall accuracy of the measured pulse inductance factor better than 5 %.

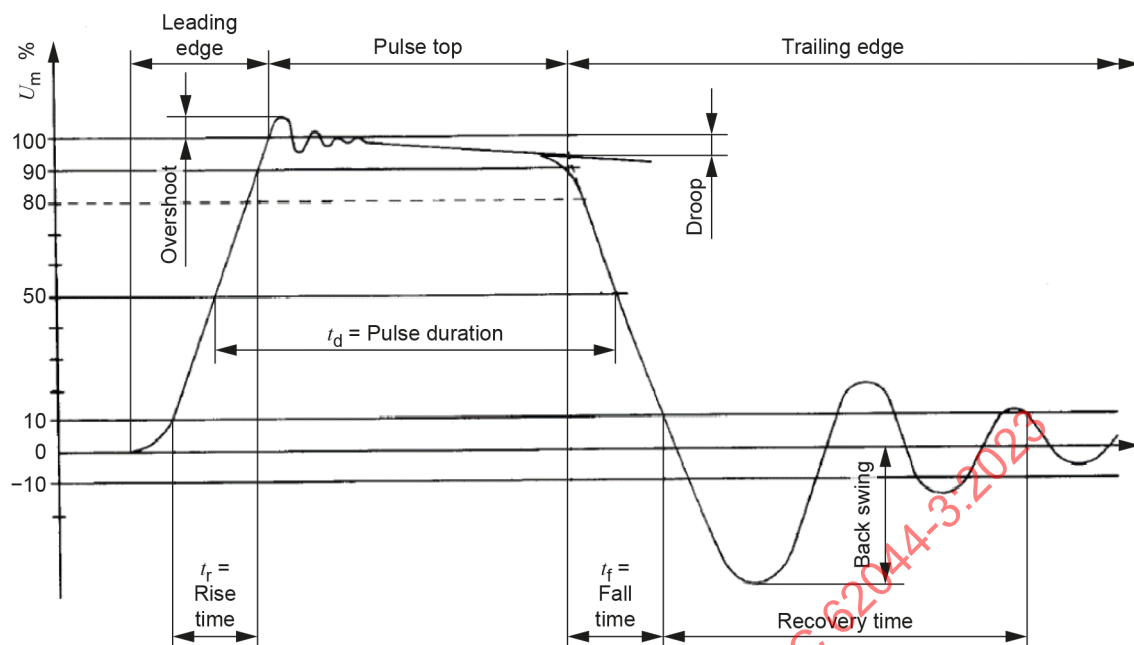
The connecting cables to the oscilloscope shall be of a low capacitance type (e.g. air insulated cables).

F.7 Measuring procedure

F.7.1 General

- a) The core to be measured is assembled with the measuring coil in accordance with 4.2.1 and 4.3.
- b) For measurement with repeated pulses, the pulse repetition rate is so chosen that the self-heating of the coil and the core is negligible.
- c) The generator is checked to ensure that it will meet the specified voltage pulse characteristics, the measuring coil being replaced by a resistor which has a resistance approximately equal to the absolute value of the coil impedance under pulse conditions. Figure F.1 shows a pulse with exaggerated distortion for the purpose of defining the relevant parameters.

In the pulse as displayed on the oscillograph, a straight line shall be drawn exactly coinciding with the steady voltage between pulses, and a straight line or a simple curve of the exponential type coinciding with most of the pulse top. The intersection of this latter line with the actual pulse leading edge gives the pulse amplitude U_m . Lines are drawn parallel to the time axis at -10 %, +10 %, +50 %, +80 % and +90 % of U_m . A straight line is drawn through the points where the pulse reaches 0,9 U_m for the last time and next reaches 0,1 U_m ; when the droop is nearly 10 % of U_m , however, the value of 0,8 U_m shall be used instead of 0,9 U_m . The intersection of this line with that drawn on the pulse top is the border between pulse top and trailing edge.



IEC

NOTE For clarity in illustrating the droop, the 80 % and 10 % points have been used in constructing the line which determines the border between the pulse top and the trailing edge.

Figure F.1 – Voltage pulse parameters

F.7.2 Measurement of pulse inductance factor and magnetizing current

- a) For measurement without bias, a measuring coil conforming with Clause F.5 shall be used. For measurement with bias, an additional bias winding having a specified number of turns shall be wound over the measuring coil, and connected to a DC power supply through an impedance of such magnitude that the bias winding has no appreciable effect on the value of the current through the measuring coil.

When making measurements with a biasing field, the direct current I_b in the bias winding is adjusted to correspond to the specified value of the biasing field strength H_b :

$$I_b = \frac{H_b \cdot l_e}{N_b}$$

where:

l_e is the effective magnetic path length of the core;

N_b is the number of turns of the bias winding of the measuring coil.

NOTE 1 Reference is often made to the biasing ampere-turns:

$$I_b N_b = H_b \cdot l_e$$

- b) The measuring circuit is adjusted to give the specified voltage pulse characteristics including pulse duration and recovery time.

NOTE 2 With the coil connected in the measuring circuit, the voltage pulse waveform for exponential and linear recovery will appear typically as in Figure F.2.

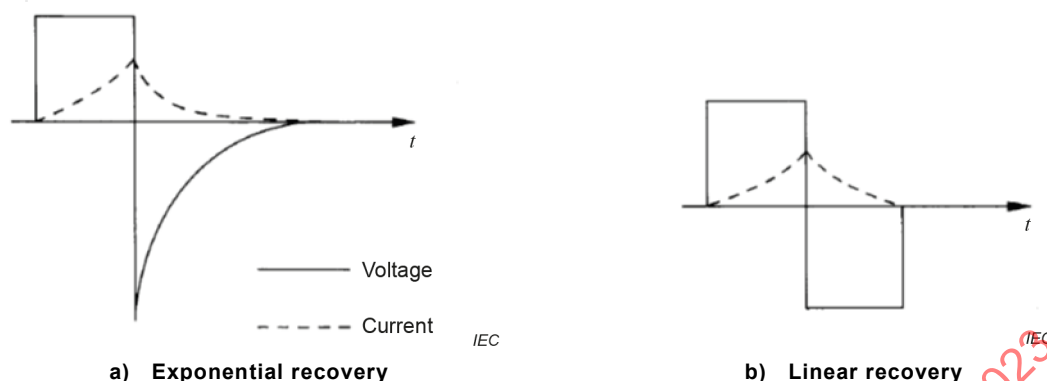


Figure F.2 – Typical measuring waveforms

The applied pulse voltage amplitude is then increased, maintaining the specified pulse characteristics, to give a reading on the average reading voltmeter or on the oscilloscope corresponding to the specified flux change $\Delta\Phi$ in the core as indicated below:

- for measurements with repeated pulses $u_{av} = N \cdot \Delta\Phi \cdot f_p$
- for measurements with isolated pulses $\int u dt = N \cdot \Delta\Phi$

where:

N is number of turns of the measuring coil winding connected to the voltmeter or oscilloscope;

f_p is the pulse repetition rate.

For measurements with repeated pulses the pulse shape and repetition frequency are checked and adjusted when necessary, and the average voltage u_{av} and the peak magnetizing current $\hat{i}_m$ are recorded.

For measurements with isolated pulses the displayed loop of $\int u dt$ versus i_m is photographed, if possible in such a way that the calibration voltage pulses in both co-ordinates are included, and the total excursion of $\int u dt$ and the corresponding variation of magnetizing current are recorded.

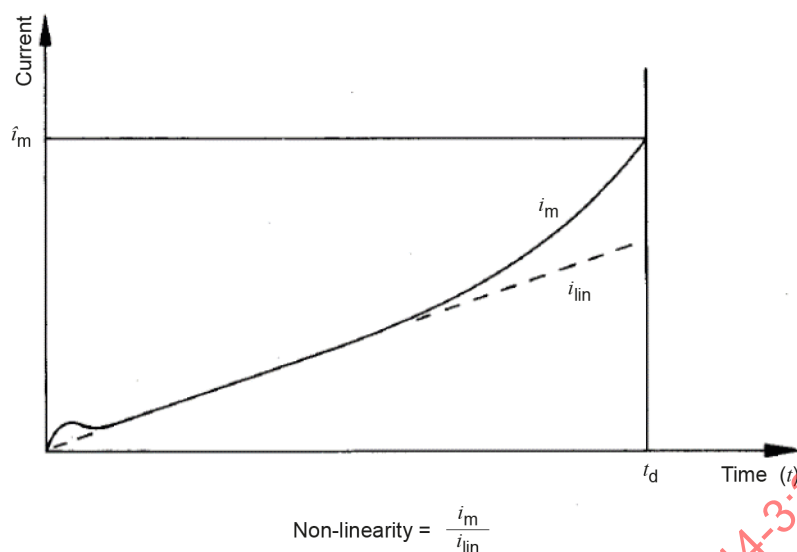
NOTE 3 A better accuracy can be obtained when use is made of a digital processing method.

F.7.3 Measurement of the non-linearity of the magnetizing current

This measurement is made to determine that the claimed value of non-linearity of the magnetizing current is not exceeded at the specified voltage-time product limit.

NOTE Typical values of non-linearity lie between 1 and 1,5.

Voltage pulses, repeated or isolated, are applied to the measuring coil as in F.7.2. The magnetizing current is displayed on an oscilloscope as a function of time, the display being photographed if necessary. The voltage pulse amplitude is varied until its voltage-time product equals the specified limit value and the non-linearity of the magnetizing current at the end of the pulse is determined (see Figure F.3).



IEC

See 3.1.16.

Figure F.3 – Non-linearity of magnetizing current

F.8 Calculation

a) Pulse inductance factor

The pulse inductance factor is calculated from one of the following expressions:

$$A_{LP} = \frac{u_{av}}{f_p \cdot i_m \cdot N^2} \quad \text{or} \quad A_{LP} = \frac{\int u dt}{i_m \cdot N^2}$$

where:

$\int u dt$ is the voltage across the measuring coil integrated over the pulse duration (i.e. the total excursion);

u_{av} is the average (half-wave) rectified voltage across the measuring coil;

f_p is the pulse repetition frequency;

i_m is the peak value of the magnetizing current;

N is the number of turns of the measuring coil winding connected to the voltmeter or oscilloscope.

b) Non-linearity of magnetizing current

In the graph of the magnetizing current as a function of time, recorded as described in F.7.3, the linear portion of the curve is extrapolated. In Figure F.3 the curve labelled i_m shows the original graph and the line labelled i_{lin} shows the extrapolated linear portion of it.

The non-linearity of the magnetizing current, defined as $\frac{i_m}{i_{lin}}$ when measured at time t_d shall not exceed the specified value, corresponding to the specified voltage-time product limit, which for the conditions of measurement described in F.7.3 is given by:

$$(U \cdot t)_{lim} = U_m \cdot t_d$$

c) Pulse inductance factor at voltage-time product limit

The pulse inductance factor corresponding to the specified value of the voltage-time product limit is calculated from the expression:

$$A_{LP} = \frac{(U \cdot t)_{lim}}{i_m \cdot N^2} = \frac{U_m \cdot t_d}{i_m \cdot N^2}$$

where the symbols have the meanings given in a) and the values of i_m and U_m are those corresponding to the method of F.7.3.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023

Annex G (informative)

Examples of circuits for pulse measurements

The circuit to be chosen depends upon the conditions to be realized:

- measurement with or without bias;
- measurement with isolated pulses or with repeated pulses.

Figure G.1 shows a circuit suitable for measurement without bias and for isolated pulses; Figure G.2 shows a circuit suitable for measurement with bias and for repeated pulses. The circuits for measurement with bias and isolated pulses, and for measurement without bias and repeated pulses can easily be developed from these examples.

In the case of measurement with repeated pulses, a resistor should be added in parallel with the measuring coil as in Figure G.2. This load resistor R_L has been shown in series with a diode which blocks the current through it during the pulse duration period, in order to conserve power and to avoid excessive dissipation. The value of R_L should be high enough to obtain a recovery time smaller than the interval between the pulses, but not so high that the back swing is excessive.

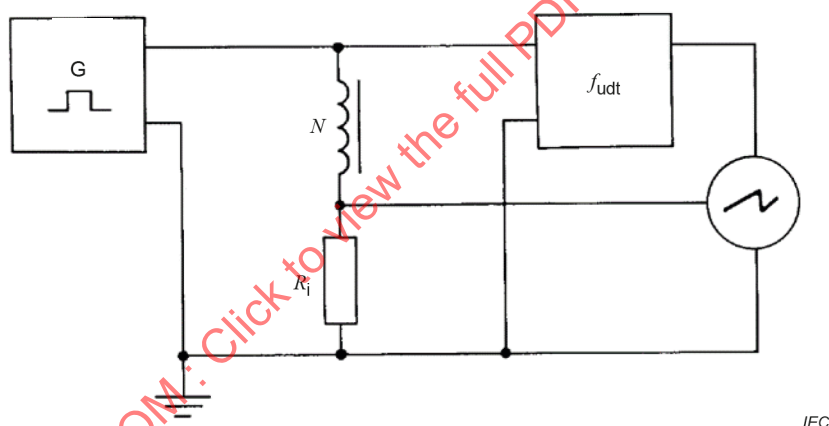


Figure G.1 – Measurement without bias and with single pulses

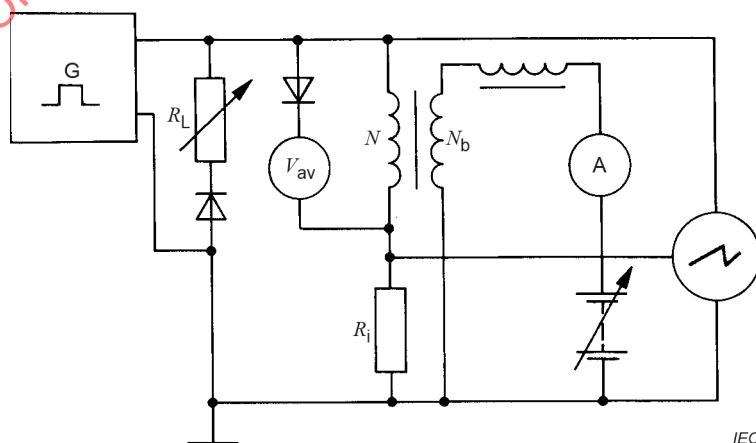


Figure G.2 – Measurement with bias and with repeated pulses

Bibliography

IEC 60051-1, *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories – Part 1: Definitions and general requirements common to all parts*

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

IEC 60401-3:2015, *Terms and nomenclature for cores made of magnetically soft ferrites – Part 3: Guidelines on the format of data appearing in manufacturers catalogues of transformer and inductor cores*

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

IEC 61332:2016, *Soft ferrite material classification*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	51
INTRODUCTION.....	53
1 Domaine d'application	54
2 Références normatives	54
3 Termes, définitions et symboles	54
3.1 Termes et définitions	54
3.2 Symboles	58
4 Exigences générales pour les mesures à niveau élevé d'excitation	59
4.1 Indications générales	59
4.1.1 Relation avec la pratique	59
4.1.2 Paramètres effectifs de noyau et propriétés des matériaux	59
4.1.3 Reproductibilité de l'état magnétique	59
4.2 Bobine de mesure	59
4.2.1 Généralités	59
4.2.2 Nombre de tours	60
4.2.3 Enroulement unique et enroulement double	60
4.3 Montage des noyaux constitués de plus d'une partie	61
4.4 Équipement de mesure	62
5 Éprouvettes	64
6 Procédures de mesure	64
6.1 Procédure générale	64
6.2 Méthode de mesure pour la perméabilité d'amplitude effective	65
6.2.1 Objet	65
6.2.2 Principe de mesure	66
6.2.3 Circuit et équipement	66
6.2.4 Procédure de mesure	66
6.2.5 Calcul	66
6.3 Méthodes de mesure pour la perte de puissance	67
6.3.1 Objet	67
6.3.2 Méthodes et principes des mesures	67
7 Informations à indiquer	70
8 Rapport d'essai	70
Annexe A (informative) Circuits de base et équipement lié pour la mesure de la perméabilité d'amplitude	71
Annexe B (informative) Méthode efficace pour la mesure de la perte de puissance – Exemple d'un circuit et procédure liée	73
B.1 Méthode de mesure	73
B.2 Bobine de mesure	73
B.3 Équipement de mesure	74
B.4 Procédure de mesure	74
B.5 Mesure d'impulsion et exactitude	75
Annexe C (informative) Méthodes par multiplication pour la mesure de la perte de puissance – Circuit de base et procédures de mesure liées	76
C.1 Circuits de base	76
C.2 Exigences	77
C.3 Bobine de mesure	77

C.4	Exactitude.....	77
C.5	Méthode par appareil de mesure V-A-W (volt-ampère-watt)	78
C.6	Méthode par analyseur d'impédance	78
C.7	Méthode par numérisation.....	78
C.8	Méthode par spectre vectoriel	79
C.9	Méthode par puissance croisée.....	79
Annexe D (informative) Méthode par réflexion pour la mesure de la perte de puissance – Circuit de base et procédures de mesure liées		80
D.1	Circuit de base.....	80
D.2	Exigences	80
D.3	Bobine de mesure	80
D.4	Procédure de mesure et exactitude.....	81
Annexe E (informative) Méthodes par mesure calorimétrique pour la mesure de la perte de puissance		82
E.1	Circuit de base.....	82
E.2	Exigences	83
E.3	Bobine de mesure	83
E.4	Exactitude.....	83
E.5	Mesures à l'équilibre thermique	83
E.5.1	Généralités	83
E.5.2	Mesure à travers la résistance thermique étalonnée	83
E.5.3	Mesure par adaptation de l'augmentation de température dans le noyau et la résistance	84
E.6	Mesures à équilibre non thermique	84
Annexe F (normative) Propriétés magnétiques dans des conditions d'impulsions		85
F.1	Objet.....	85
F.2	Méthodes de mesure	85
F.3	Principe des méthodes.....	85
F.4	Éprouvettes	85
F.5	Bobine de mesure.....	85
F.6	Équipement de mesure	86
F.7	Procédure de mesure.....	87
F.7.1	Généralités	87
F.7.2	Mesurage du facteur d'inductance de l'impulsion et du courant magnétisant.....	88
F.7.3	Mesurage de la non-linéarité du courant magnétisant	89
F.8	Calcul	90
Annexe G (informative) Exemples de circuits pour les mesures d'impulsions		92
Bibliographie.....		93
Figure 1 – Excitation par impulsions sans champ de polarisation		56
Figure 2 – Excitation par impulsions avec champ de polarisation		56
Figure A.1 – Circuits de base pour la mesure de la perméabilité d'amplitude		72
Figure B.1 – Exemple d'un circuit de mesure pour la méthode efficace		73
Figure C.1 – Circuits de base pour les méthodes par multiplication.....		77
Figure D.1 – Circuit de base		80
Figure E.1 – Circuit de base et procédures de mesure liées – Montage de mesure		82
Figure F.1 – Paramètres d'impulsion de tension.....		88

Figure F.2 – Formes d'onde de mesure types	89
Figure F.3 – Non-linéarité du courant magnétisant.....	90
Figure G.1 – Mesure sans polarisation et avec des impulsions uniques	92
Figure G.2 – Mesure avec polarisation et avec des impulsions répétées	92
 Tableau 1 – Sélection de méthodes par multiplication et domaines liés de formes d'onde d'excitation, d'acquisition, de traitement	 68

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**NOYAUX EN MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES DOUX –
MÉTHODES DE MESURE –****Partie 3: Propriétés magnétiques à niveau élevé d'excitation****AVANT-PROPOS**

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'a pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de propriété.

L'IEC 62044-3 a été établie par le comité d'études 51 de l'IEC: Composants magnétiques, ferrites et matériaux en poudre magnétique. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2000. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) ajout de l'Annexe F et de l'Annexe G.

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

Projet	Rapport de vote
51/1426/CDV	51/1439/RVC

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

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62044, publiées sous le titre général *Noyaux en matériaux magnétiques doux – Méthodes de mesure*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

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

INTRODUCTION

L'IEC 62044, publiée sous le titre général *Noyaux en matériaux magnétiques doux – Méthodes de mesure*, comprend les parties suivantes:

IEC 62044-1: Spécification générique

IEC 62044-2: Propriétés magnétiques à niveau d'excitation faible

IEC 62044-3: Propriétés magnétiques à niveau élevé d'excitation

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023

NOYAUX EN MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES DOUX – MÉTHODES DE MESURE –

Partie 3: Propriétés magnétiques à niveau élevé d'excitation

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62044 spécifie les méthodes de mesure de la perte de puissance et de la perméabilité d'amplitude des noyaux magnétiques qui forment 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 le présent document peuvent couvrir les mesures des propriétés magnétiques pour des fréquences qui s'étendent dans la pratique du courant continu à 10 MHz, voire éventuellement au-dessus, pour les méthodes calorimétrique et par réflexion. L'applicabilité des différentes méthodes à des plages de fréquences spécifiques dépend du niveau d'exactitude à obtenir.

Les méthodes du présent document sont fondamentalement les mieux adaptées aux excitations sinusoïdales. D'autres formes d'onde périodiques peuvent également être utilisées; cependant, une exactitude appropriée peut être obtenue seulement 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 qui correspond à l'induction magnétique indiquée et aux formes d'onde de champ magnétique avec une exactitude 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 éprouvettes et des calculs spécifiés. Ces principes sont énoncés dans l'IEC 60404-8-6.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Termes et définitions

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

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

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

3.1.1

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 effectif, $\hat{H}_e$, 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 désaimanté spécifié

3.1.2

perméabilité d'amplitude effective maximale

$\mu_{ea \max}$

valeur maximale de la perméabilité d'amplitude effective lors de variations de l'amplitude d'excitation ($\hat{B}_e$ ou $\hat{H}_e$)

3.1.3

excitation

soit l'induction magnétique 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 1 à l'article: Lorsque le mode d'excitation par induction magnétique (par champ magnétique) est choisi, la forme d'onde qui résulte du champ magnétique (de l'induction magnétique) peut être déformée par rapport à la forme d'onde 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 (en particulier en basse fréquence) ou auxquelles la perte de puissance donne lieu à une augmentation visible de la température (en particulier en haute fréquence), ou les deux

3.1.5

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

3.1.6

enroulement de détection de tension

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

3.1.7

enroulement de mesure

enroulement, normalement secondaire, chargé ou non, qui peut être utilisé pour la mesure hors enroulement d'excitation ou enroulement de détection de tension, ou les deux

3.1.8

perte de puissance

puissance absorbée par le noyau

3.1.9

excitation par impulsions sans champ de polarisation

excitation dans laquelle un noyau est alimenté par une impulsion de tension, d'une induction rémanente à une valeur d'induction plus élevée dans la même direction, et dans laquelle le noyau retrouve la même induction rémanente

Note 1 à l'article: La déviation dans le plan B - H associée à une telle impulsion est représentée à la Figure 1.

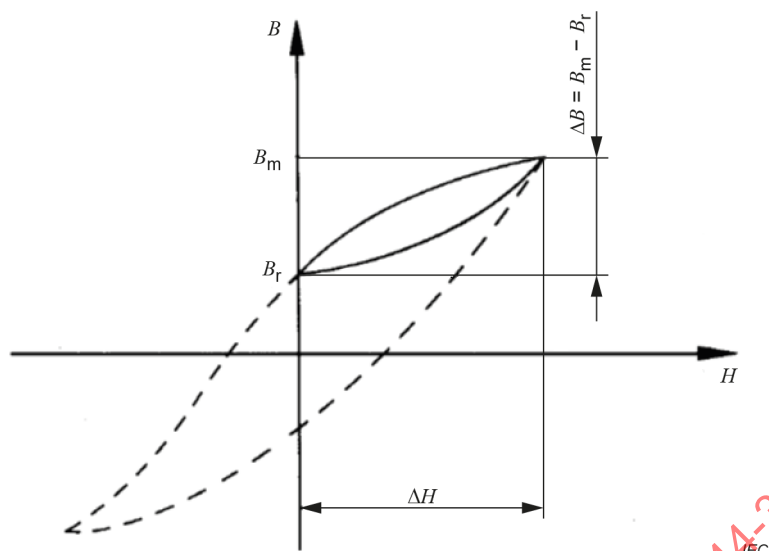


Figure 1 – Excitation par impulsions sans champ de polarisation

Note 2 à l'article: Si la force contre-électromotrice durant la reprise n'est limitée que par la constante de temps du circuit d'essai, alors le courant magnétisant diminue de façon exponentielle.

En variante, la force contre-électromotrice peut être limitée à une valeur constante, par exemple en renvoyant l'énergie par un enroulement secondaire à une source de tension; la diminution du courant magnétisant est alors approximativement linéaire. Cette dernière méthode peut empêcher une force contre-électromotrice excessivement élevée et des taux élevés de variation de flux. La distinction est principalement pertinente pour le mesurage des pertes.

3.1.10

excitation par impulsions avec champ de polarisation

excitation dans laquelle un noyau est alimenté par une impulsion de tension, d'une valeur d'induction déterminée par un champ de polarisation à une induction dans la direction opposée, et dans laquelle le noyau retrouve la même valeur déterminée par le champ de polarisation

Note 1 à l'article: La déviation dans le plan B - H associée à une telle impulsion est représentée à la Figure 2.

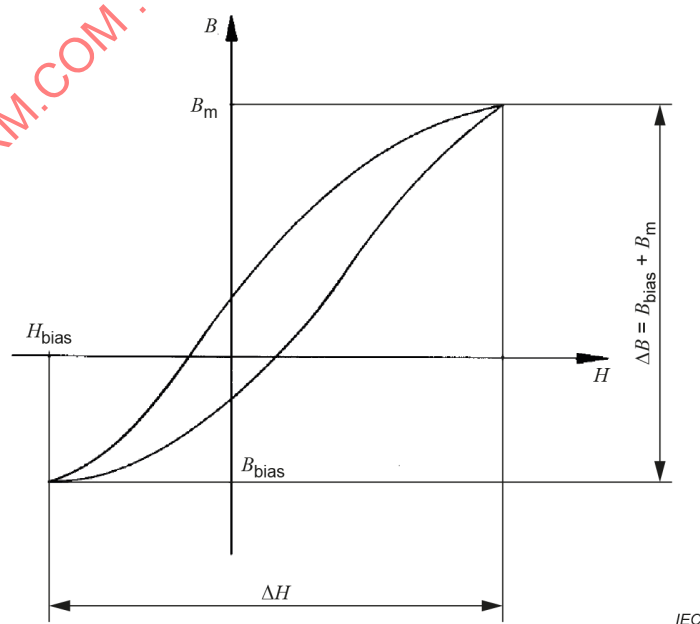


Figure 2 – Excitation par impulsions avec champ de polarisation

Note 2 à l'article: Voir la Note 2 à l'article du 3.1.9.

3.1.11 perméabilité de l'impulsion

μ_p

perméabilité relative obtenue à partir de la variation de l'induction et de la variation correspondante du champ magnétique lorsque l'une ou l'autre des grandeurs varie de façon arbitraire entre des limites spécifiées:

$$\mu_p = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta H}$$

VOIR: Figure 1 et Figure 2.

Note 1 à l'article: La valeur de la perméabilité de l'impulsion dépend fortement des limites des déviations d'induction ou de champ magnétique; il n'est pas nécessaire que ces limites soient symétriques par rapport à la valeur zéro.

Note 2 à l'article: Souvent, la perméabilité de l'impulsion se réfère au cas particulier d'impulsions de tension carrées appliquées à un enroulement d'excitation; la forme d'onde de l'induction magnétique est alors approximativement triangulaire.

3.1.12 amplitude de l'impulsion

U_m

valeur instantanée maximale d'une impulsion de tension idéale par rapport à la valeur stable de la tension entre les impulsions

Note 1 à l'article: Une impulsion idéale est déduite d'une impulsion de tension réelle en ignorant les phénomènes indésirables ou non pertinents tels que les dépassements (voir Figure 1).

3.1.13 durée de l'impulsion

t_d

intervalle de temps pendant lequel la valeur instantanée de l'impulsion dépasse 50 % de l'amplitude de l'impulsion

$$L_p = \frac{U_m}{\Delta i_m / t_d}$$

où

L_p est l'inductance de l'impulsion

Δi_m est la variation totale de i_m pendant l'impulsion

VOIR: Figure F.1.

Note 1 à l'article: Pour les impulsions unidirectionnelles $\Delta i_m = i_m$.

3.1.14 facteur d'inductance de l'impulsion

A_{LP}

inductance de l'impulsion divisée par le carré du nombre de tours de la bobine d'essai

$$A_{LP} = \frac{L_p}{N^2}$$

3.1.15

limite du produit tension-temps

$(U \cdot t)_{\text{lim}}$

limite spécifiée du produit de l'amplitude d'une impulsion de tension et du temps écoulé depuis le début de l'impulsion

Note 1 à l'article: Dans cette limite, il convient que la non-linéarité du courant magnétisant à travers la bobine de mesure placée sur le noyau ne dépasse pas une valeur spécifiée.

3.1.16

non-linéarité (dans le temps)

rapport de la valeur instantanée réelle d'une caractéristique à un instant t à la valeur atteinte par la portion linéaire extrapolée de ce graphique en fonction du temps, au même instant

VOIR: Figure F.3.

3.1.17

taux de répétition des impulsions

fréquence de récurrence des impulsions dans une séquence périodique d'impulsions

3.2 Symboles

Toutes les formules du présent document utilisent des unités SI de base. Lorsque des multiples ou des sous-multiples sont utilisés, la puissance de 10 appropriée doit être introduite.

A_e	section effective du noyau
$\hat{B}_e$	valeur de crête de l'induction magnétique 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	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	perméabilité du vide: environ $4\pi \times 10^{-7}$ H/m
φ	déphasage
ω	pulsation = $2\pi f$

NOTE 1 Les indices, les 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 l'IEC 60205.

NOTE 4 Dans le texte du présent document, le terme induction est utilisé comme abréviation d'induction magnétique.

4 Exigences 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 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 formes d'onde 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 magnétique 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 qui ont 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, le mesurage doit être effectué avec un état magnétique reproductible et bien défini.

Sauf indication contraire, tout mesurage avec une excitation spécifiée doit être effectué 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 Généralités

Une bobine de mesure est normalement utilisée, mais en principe, toute ligne coaxiale, cavité ou tout autre dispositif approprié qui assure l'interaction nécessaire entre le matériau magnétique et le signal électromagnétique peut également être utilisé.

Pour le mesurage sur tore avec des bobines, les spires de la bobine de mesure doivent être réparties de manière à maintenir à la fois la capacité parasite et le champ parasite à une valeur aussi faible que nécessaire pour obtenir une mesure suffisamment exacte.

Pour les mesurages réalisés sur noyaux assemblés autour d'une bobine, la forme de la bobine de mesure doit correspondre à celle des bobines utilisées pour l'application normale du noyau et son influence sur la variation de l'inductance à mesurer doit être négligeable.

Sauf spécification contraire, la bobine d'essai complète avec support de bobine ou encapsulation, ou les deux, doit être positionnée de façon coaxiale par rapport à la branche qu'elle entoure, et le côté de la bobine où se trouve le début de l'enroulement doit être légèrement pressé contre le noyau à une extrémité de cette branche, comme suit:

- dans le cas d'un noyau symétrique, la bobine doit être en contact avec le noyau à l'une ou l'autre des extrémités;
- dans le cas d'un noyau avec un entrefer qui est asymétrique, ce dernier ayant été réalisé par rodage du matériau sur le côté d'une moitié du noyau et non sur l'autre, la bobine doit présenter le contact d'extrémité sur la moitié du noyau qui n'a pas été rodée pour créer l'entrefer.

L'une des faces de la bobine doit être marquée pour définir son orientation. La bobine doit être maintenue dans la position définie pendant toute la durée du mesurage afin d'obtenir une reproductibilité maximale de la mesure.

4.2.2 Nombre de tours

Le nombre de tours doit être spécifié pour chaque enroulement en relation avec les conditions de mesure, l'équipement utilisé et l'exactitude à obtenir. Les enroulements doivent être réalisés aussi près que possible du noyau, 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 que possible de 100 %.

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.

Lors du bobinage d'un noyau à arêtes vives, il convient que l'isolation du fil ne se rompe pas et, dans le cas d'un fil multibrin, il convient que les éléments ne se cassent pas.

4.2.3 Enroulement unique et enroulement double

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 magnétique de mesure B dans le noyau;
- la capacité inter-enroulements est trop élevée;
- il n'existe pas de contre-indication de circuits de mesure relative à la connexion directe de l'enroulement d'excitation à l'entrée ou aux entrées des instruments de mesure.

Lorsqu'un 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, l'enroulement d'excitation est 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.

Lorsque les enroulements d'excitation et de détection de tension sont utilisés, leur coefficient de couplage magnétique doit être aussi proche que possible de 100 %.

La tension nécessaire pour le calcul de l'induction magnétique dans le noyau est habituellement mesurée à travers un enroulement de détection de tension séparé de l'enroulement de courant admissible (d'excitation). Lors du mesurage des pertes du noyau, les pertes ohmiques dans l'enroulement de détection de tension n'ont pas d'influence sur le calcul, mais les pertes ohmiques dans l'enroulement de courant admissible (d'excitation) doivent être exclues du calcul des pertes du noyau.

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

Un noyau ferrite 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 de fixation pendant toute la durée du mesurage.

Quelle que soit la méthode utilisée pour assembler les parties du noyau, elle 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'une méthode d'assemblage spécifiée est utilisée, une surforce initiale d'environ 10 % doit être appliquée lorsque le noyau est fermé, pour casser les petites irrégularités entre les surfaces d'accouplement nettoyées. La force d'assemblage spécifiée de ± 5 % doit ensuite 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 plage complète de températures spécifiées.

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

La surface d'accouplement doit être examinée pour constater les dommages et la propreté. Des noyaux endommagés ne doivent pas être utilisés. 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. Les surfaces d'accouplement ne doivent jamais être touchées 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 un dispositif de fixation. 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 être ensuite 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'IEC 62044-1:2002, Article 3) 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 Équipement de mesure

4.4.1 Tout équipement de mesure adapté peut être utilisé. Des exemples de circuits appropriés sont donnés de l'Annexe A à l'Annexe E.

En plus de toute exigence spécifiée pour la méthode particulière ou le circuit de mesure utilisé, ou les deux, les exigences générales suivantes doivent être respectées.

4.4.2 Pour assurer le mode d'excitation par induction magnétique (par 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.

4.4.3 Lorsque la forme sinusoïdale d'excitation est spécifiée, le contenu harmonique total de la source d'excitation doit être inférieur à 1 %. Lorsque des impulsions carrées sont spécifiées, les exigences applicables de l'Annexe F doivent être respectées.

4.4.4 Pendant le mesurage, 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 à l'équipement utilisé.

4.4.5 La plage de fréquences des voltmètres et des autres instruments de détection de tension doit inclure tous les harmoniques de la tension mesurée qui ont des amplitudes de 1 % ou plus de leurs valeurs fondamentales. La plage de fréquences doit être stipulée dans la spécification d'instrument applicable.

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

4.4.7 L'exactitude des voltmètres ou des instruments de détection de la tension déterminée pour le calibrage des formes d'onde 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 formes d'onde à mesurer se situe dans les limites imposées par l'instrument.

Si les inexactitudes 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 exactitude de ± 1 %. Les valeurs moyenne et de crête sont obtenues en multipliant les valeurs efficaces indiquées par les facteurs suivants: valeur moyenne = $0,900 \times$ 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 traitement numériques ou des instruments d'acquisition et de traitement appropriés doivent être utilisés. Ces appareils doivent être en mesure de capter et de traiter des formes d'onde avec un taux d'échantillonnage d'au moins 150 échantillons par période de forme d'onde et avec une résolution d'au moins 8 bits.

NOTE Le facteur de crête est le rapport de la valeur de crête sur la valeur efficace de la forme d'onde mesurée.

4.4.8 La valeur de la résistance de la résistance de détection de courant en série doit être connue avec une inexactitude qui ne dépasse 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_R de la résistance R dans la plage de fréquences spécifiée en 4.4.5 ne doit pas dépasser une valeur de:

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

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 4.4.5;

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

Par 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'exactitude d'amplitude et de phase sur la plage de fréquences, comme cela est exigé en 4.4.5. 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, l'exactitude d'amplitude de la sonde de courant est essentiellement concernée.

4.4.9 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 $\Delta\varphi$ (radian) entre les voies conçues comme équiphase pour conduire les signaux qui correspondent à l'induction magnétique et au champ magnétique sur la plage de fréquences définie en 4.4.5 ne doit pas dépasser une valeur de:

$$\Delta\varphi = \pm \frac{\delta P(\Delta\varphi)}{Q}$$

où

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

$Q = \frac{\omega \hat{B}_e \hat{H}_e}{2P_v}$ 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 magnétique effective et du champ magnétique effectif dans le noyau, respectivement;

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

Si une excitation non sinusoïdale est appliquée, les déphasages des harmoniques impliqués doivent être déterminés. En correspondance avec chaque fréquence d'harmonique, les valeurs des paramètres indiqués plus haut doivent être utilisées dans le calcul de chaque fréquence harmonique.

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

4.4.10 Tout contact de connecteurs, de jonctions, d'interrupteurs, de multiplexeurs, etc., intermédiaires 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, l'impédance de série et l'admittance parallèle qui résultent de l'insertion du contact ne doivent avoir qu'un effet négligeable sur les résultats mesurés dans toutes les conditions de mesure concernées, y compris la plage de fréquences, comme cela est spécifié en 4.4.5.

4.4.11 Il convient de procéder à des mesurages ou à un étalonnage, ou aux deux, pour s'assurer que l'inexactitude de mesure qui en résulte pour la perméabilité d'amplitude et la perte de puissance sur toutes les conditions de mesure ne dépasse pas l'inexactitude spécifiée pour la méthode de mesure donnée et le circuit spécifié.

4.4.12 Un environnement à température contrôlée doit être prévu, en mesure de maintenir l'équilibre thermique entre le noyau et cet environnement dans des limites de température spécifiées pendant le conditionnement, le réglage, le mesurage et les opérations de lecture.

5 Éprouvettes

Des noyaux prélevés dans la production normale qui forment 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 au 4.3.

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

6.1.2 Le noyau doit être placé dans un environnement à température contrôlée conformément au 4.4.12. Toutes les opérations de mesure telles que le conditionnement magnétique, les réglages et les mesurages doivent être effectuées après obtention de la température du noyau et maintien de celle-ci dans les limites de tolérance admises.

6.1.3 Les tensions qui correspondent à la valeur de crête d'induction magnétique $\hat{B}_e$ et à la valeur de crête du champ magnétique $\hat{H}_e$ auxquelles le mesurage doit être réalisé 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 égal 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 égal à N_2 lorsqu'un enroulement secondaire est utilisé pour la détection de tension;

– pour une excitation $\hat{H}_e$:

$$\hat{U}_R = \frac{R \cdot I_e \cdot \hat{H}_e}{N_1}$$

où

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

N_1 est le nombre de tours de l'enroulement d'excitation 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'onde d'induction magnétique sinusoïdales pratiquement pures $\hat{B}_e$, la tension qui correspond 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_{rms} et de crête $\hat{U}$, respectives de cette tension sont calculées comme suit:

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

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

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

NOTE 3 Dans le cas où une section autre 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 à l'IEC 62044-1:2002, 5.2a), sauf indication contraire.

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

Pour conserver une forme d'onde d'excitation correcte dans toutes les conditions de mesure, il convient de la contrôler. Dans le cas du mode d'excitation par induction magnétique, 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 ou égale à 10 s, pour empêcher le noyau de subir un autoéchauffement excessif.

6.1.7 Lorsqu'un noyau est excité dans des conditions d'impulsions avec ou sans composante de polarisation, les spécifications complémentaires respectives de l'Annexe F 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 formes d'onde périodiques symétriques de noyaux magnétiques qui forment des circuits magnétiques fermés.

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

6.2.2 Principe de mesure

L'induction magnétique 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 enroulée 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 mesurages sont effectués à des valeurs de crête spécifiées d'induction magnétique ou de champ magnétique, de fréquence et de température.

6.2.3 Circuit et équipement

Tout équipement adapté peut être utilisé s'il est capable de remplir la fonction des circuits représentés à l'Annexe A.

Les exigences du 4.4 doivent être respectées. Dans la mesure où les formes d'onde d'induction magnétique et de champ magnétique ne sont pas déterminantes dans le cas de la mesure de la perméabilité d'amplitude, il n'est pas nécessaire de satisfaire rigoureusement aux exigences du 4.4.2 et du 4.4.3.

Si la perméabilité d'amplitude doit être déterminée pour les valeurs de crête des composantes fondamentales des formes d'onde de l'induction magnétique et du champ magnétique, il convient de mesurer ces valeurs de crête avec des instruments à choix de fréquence qui respectent les exigences du 4.4.

6.2.4 Procédure de mesure

La procédure générale du 6.1 doit être appliquée.

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

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

6.2.5 Calcul

La perméabilité d'amplitude effective est déduite de

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

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

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

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 série R ;

$\hat{I}$ est la valeur de crête du courant qui traverse 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 , N_2 est remplacé par N_1 et le produit $N_1 N_2$ est remplacé par N_1^2 .

6.3 Méthodes de mesure pour la perte de puissance

6.3.1 Objet

Fournir des méthodes de mesure de perte de puissance à des niveaux élevés d'excitation et des formes d'onde périodiques dans les noyaux magnétiques qui forment des circuits magnétiques fermés.

6.3.2 Méthodes et principes des mesures

6.3.2.1 Généralités

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

6.3.2.2 Méthode efficace

Cette méthode est:

- généralement applicable, à condition que les composants du circuit, le montage et l'équipement utilisés satisfassent aux exigences du 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.

6.3.2.3 Méthodes par multiplication

6.3.2.3.1 Généralités

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

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

Méthode de mesure	Domaine			Article 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.5
Analyseur d'impédance	Sinusoïdale	Non applicable	Non applicable	C.6
Numérisation	Arbitraire	Dans le temps	Dans le temps	C.7
Spectre vectoriel	Arbitraire	Fréquence	Fréquence	C.8
Puissance croisée	Arbitraire	Dans le temps	Fréquence	C.9

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

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

Cette méthode est limitée à l'excitation sinusoïdale telle qu'elle est définie en 4.4.3.

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.

6.3.2.3.3 Méthode par analyseur d'impédance

Cette méthode est limitée à l'excitation sinusoïdale telle qu'elle est définie en 4.4.3.

L'analyseur d'impédance détermine, à la fréquence fondamentale, les composantes vectorielles des tensions liées respectivement à l'induction magnétique 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 magnétique divisée par la résistance parallèle donne la perte de puissance dans le noyau.

6.3.2.3.4 Méthode par numérisation

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

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

6.3.2.3.5 Méthode par spectre vectoriel

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

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

La perte de puissance dans le noyau est obtenue en additionnant les composantes de perte de puissance qui correspondent aux fréquences fondamentale et harmonique.

6.3.2.3.6 Méthode par puissance croisée

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

À la valeur spécifiée d'excitation, un ou plusieurs cycles des tensions mesurées sont échantillonnés et convertis en données numériques.

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

La perte de puissance dans le noyau est obtenue en additionnant les parties réelles du spectre de puissance croisée à chaque fréquence.

6.3.2.4 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;
- s'applique aux fréquences supérieures à 500 kHz;
- est plus adaptée au mode d'excitation par induction magnétique qu'au mode d'excitation par champ magnétique.

Le mesurage est effectué en utilisant un réflectomètre connecté à une tête de mesure à deux voies. Un voltmètre connecté en parallèle à l'enroulement de détection de tension surveille la 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 magnétique d'excitation.

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

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

6.3.2.5 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 bobiné

- 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 (habituellement plusieurs heures par point de mesure).

À 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 déterminable à une résistance de chauffage (ohmique).

Dans l'état d'équilibre non thermique, la température mesurée souhaitée est utilisée comme point de réglage. La détermination de la perte de puissance dans le noyau bobiné peut être réalisée en appliquant les 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 mesurages doivent être effectués conformément au présent document, les informations suivantes doivent être indiquées:

- 1) fréquence(s) de mesure;
- 2) température(s) de mesure avec tolérance(s);
- 3) mode d'excitation: induction magnétique 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) valeur(s) 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 le mesurage effectué, t_m , après le début du conditionnement magnétique;
- 14) degré d'exactitude;
- 15) résultats à présenter, par exemple un résultat unique, un ensemble de résultats uniques ou de caractéristiques fonctionnelles, comme la perte de puissance en fonction de la température à des valeurs données d'induction magnétique effective $\hat{B}_e$ et à une fréquence donnée, ou la perméabilité d'amplitude en fonction de l'induction magnétique effective à une fréquence et une température données.

Lorsque les conditions de mesure ou d'essai (points 1) à 6)), ou les deux, concernant les propriétés du matériau du noyau doivent être choisies, il convient de prendre en compte les spécifications données dans l'IEC 60401-3:2015, Article 3 et Article 4, dans l'IEC 61332:2016, 4.3.

NOTE 1 Le point 10) n'est pas nécessaire en ce qui concerne la mesure de la perméabilité d'amplitude.

NOTE 2 Si nécessaire, plus d'informations peuvent être exigées dans les spécifications particulières.

8 Rapport d'essai

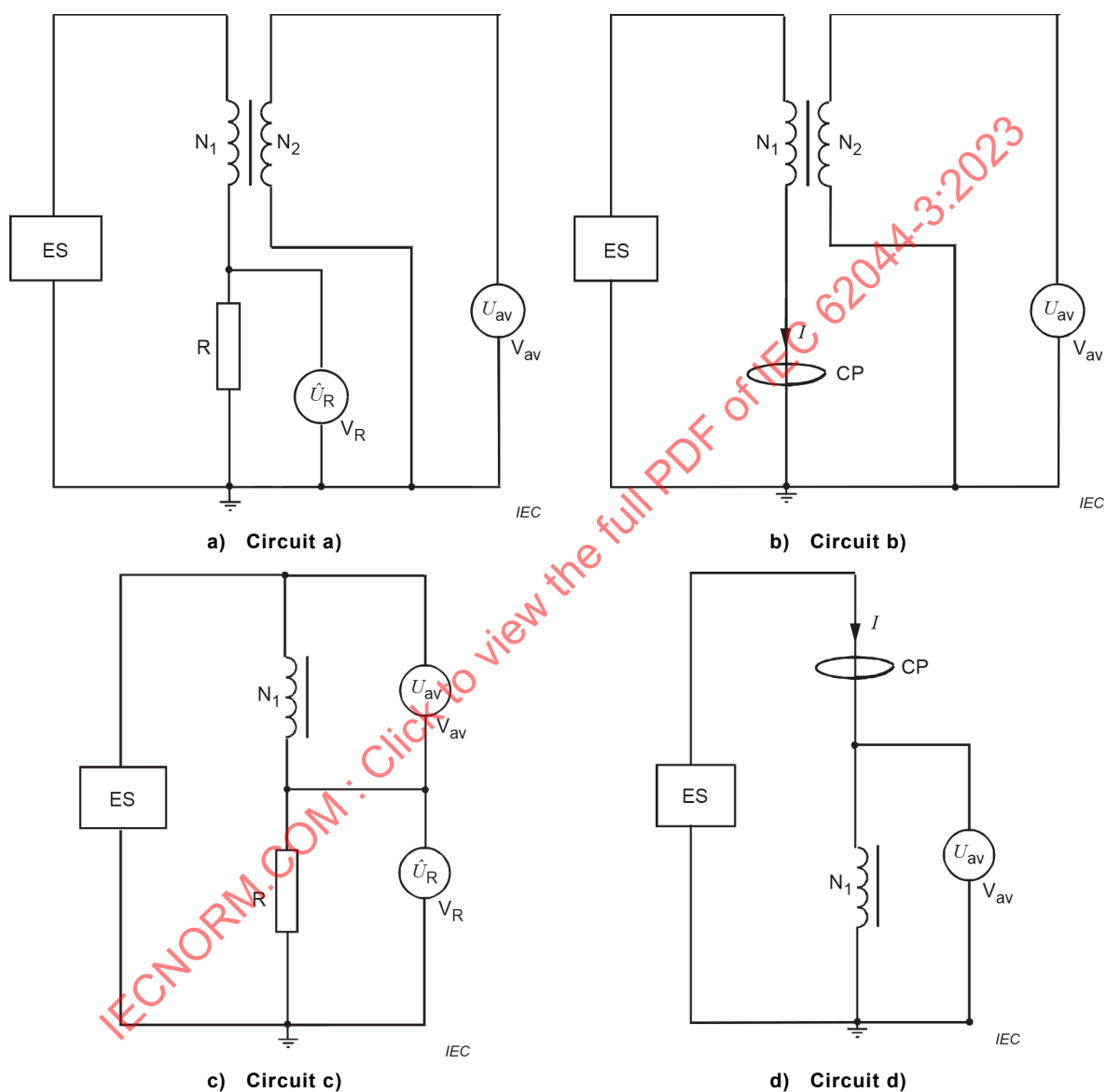
Le rapport d'essai doit contenir en fonction des besoins:

- a) l'indication de conformité aux essais du présent document;
- b) le type, les dimensions, le matériau et le numéro de série ou la marque de l'éprouvette;
- c) la taille de l'échantillon;
- d) les paramètres mesurés;
- e) la méthode d'essai et son exactitude;
- f) les conditions d'essai (Article 7, du point 1) au point 6)).

Annexe A (informative)

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

Les circuits de base sont représentés à la Figure A.1.



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 .

Composants

ES	source d'excitation qui contient généralement un générateur et un amplificateur de puissance;
R	résistance à travers laquelle la tension proportionnelle au courant I qui traverse l'enroulement d'excitation est mesurée;
CP	sonde de courant qui détecte la valeur de crête $\hat{I}$ du courant;
V_R	voltmètre ou instrument qui détecte la valeur de crête $\hat{U}_R$ de la tension à travers la résistance R;
V_{av}	voltmètre ou instrument qui détecte la valeur moyenne U_{av} 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

Les circuits et l'équipement utilisés doivent satisfaire aux exigences du 4.4.

L'exactitude qui en résulte à ± 3 % peut être obtenue si les exigences du 4.4 sont respectées.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023

Annexe B (informative)

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

B.1 Méthode de mesure

Dans la méthode efficace, un interrupteur S est utilisé pour connecter le voltmètre ou l'instrument de détection de valeur 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 ou l'instrument de détection de valeur efficace doit être connecté à l'interrupteur en utilisant un câble à faible bruit, à écran simple et 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 plus possible le risque d'effet de surtension transitoire sur V_{rms} et V_{av} . Ces effets peuvent intervenir lorsque l'excitation est modifiée de manière trop brutale ou lorsque la position de contact de l'interrupteur S est modifiée, ou les deux.

Les exigences des 4.4.2, 4.4.4, 4.4.9 et 4.4.10 doivent être respectées.

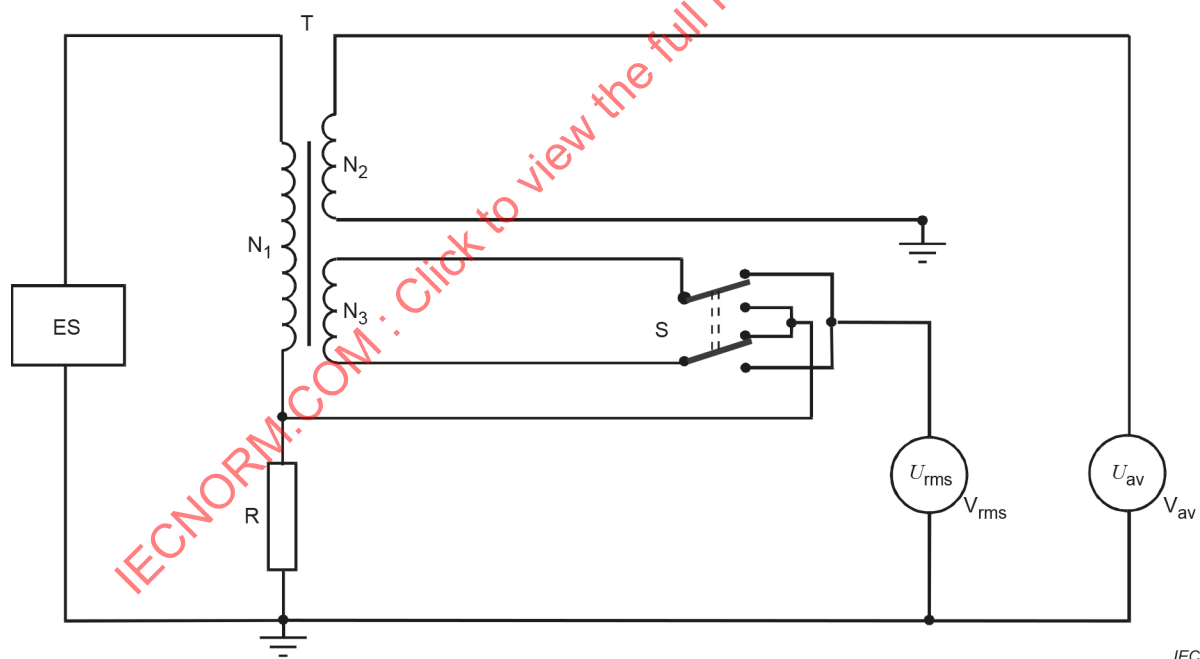


Figure B.1 – Exemple d'un circuit de mesure pour la méthode efficace

B.2 Bobine de mesure

Dans la méthode efficace, une bobine de mesure à enroulement triple avec enroulement d'excitation, enroulement de mesure et enroulement de détection de tension séparés est utilisée.

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. Il permet également la mise à la terre du voltmètre.

B.3 Équipement de mesure

La source d'excitation ES doit satisfaire aux exigences spécifiées en 4.4.3 et 4.4.4. Pour les impulsions de tension rectangulaires, avec ou sans polarisation, la source d'excitation doit satisfaire aux exigences de l'Article F.6. Si le noyau doit être excité par des formes d'onde autres que les formes sinusoïdales ou rectangulaires, des exigences fondées sur celles de l'Article F.6 doivent être stipulées dans la spécification applicable.

Le transformateur T est composé du 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 conseillé d'adapter le nombre de tours de l'enroulement de mesure N_3 de manière que la tension qui le traverse soit de même ordre que la chute de tension à travers la résistance de mesure de courant R. L'exactitude de la méthode augmente à mesure que ces tensions se rapprochent numériquement.

V_{rms} est un voltmètre ou un autre instrument de valeur efficace vraie qui réalise cette fonction. V_{av} est un voltmètre ou un instrument de détection de valeur moyenne. À la fois V_{rms} et V_{av} doivent satisfaire aux exigences des 4.4.5, 4.4.6 et 4.4.7.

D'autres exigences indiquées en 4.4 doivent également être respectées.

B.4 Procédure de mesure

Il convient de suivre la procédure générale du 6.1. Dans cette méthode, les indications du voltmètre ou de l'instrument de détection de valeur efficace sont lues 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 influencées par les différences d'état thermique du noyau et de la bobine de mesure.

Le calcul est le suivant:

La perte de puissance du noyau est donnée par

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

où

$\overline{(ui)}$ 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.5 Mesure d'impulsion et exactitude

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 donc préférable d'exprimer la perte de puissance en énergie par cycle, $P = \frac{\overline{wi}}{f_p}$. Pour une amplitude et une durée d'impulsion données, E est indépendant de f_p et, en général, $P = E \cdot f_p$.

Pour cette méthode de mesure, l'exactitude résultante à ± 5 % peut être obtenue pour la détermination de la perte de puissance si les exigences du 4.4 sont respectées.

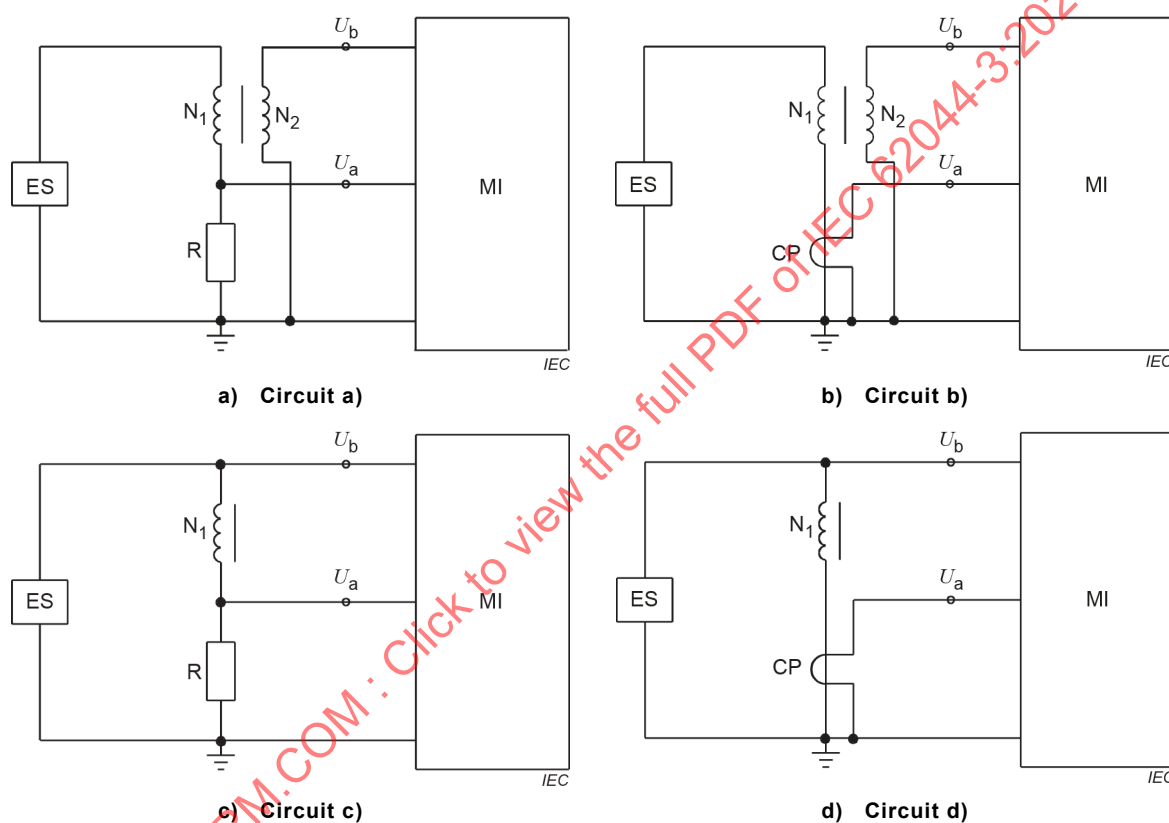
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62044-3:2023

Annexe C (informative)

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

C.1 Circuits de base

Les circuits de base sont représentés à la Figure C.1.



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 .

Composants

- ES source d'excitation;
- R résistance non réactive à détection de courant à travers laquelle la tension U_a , proportionnelle au courant I qui traverse 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;