IEC 60404-6

Edition 3.1 2021-07
CONSOLIDATED VERSION

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Magnetic materials –
Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies in the range 20 Hz to 100 kHz by the use of ring specimens

Matériaux magnétiques –
Partie 6: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux métalliques et des matériaux en poudre magnétiquement doux, aux fréquences comprises entre 20 Hz et 100 kHz, sur des éprouvettes en forme de tore

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20; 29.030

ISBN 978-2-8322-4184-4

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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

IEC 60404-6

Edition 3.1 2021-07
CONSOLIDATED VERSION

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE

colour inside

Magnetic materials –
Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies in the range 20 Hz to 100 kHz by the use of ring specimens

Matériaux magnétiques –
Partie 6: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux métalliques et des matériaux en poudre magnétiquement doux, aux fréquences comprises entre 20 Hz et 100 kHz, sur des éprouvettes en forme de tore

IEC 60404-6:2018-05+AMD1:2021-07 CSV(en-fr)

CONTENTS

FOREWORD 4
1 Scope 6
2 Normative references 6
3 Terms and definitions 7
4 General principles of measurement 7
4.1 Principle of the ring method 7
4.2 Test specimen 7
4.3 Windings 8
5 Temperature measurements 9
6 Measurement of the relative amplitude permeability and the AC magnetization curve 9
6.1 General 9
6.2 Apparatus and connections 9
6.3 Waveform of induced secondary voltage or magnetizing current 10
6.4 Determination of characteristics 11
6.4.1 Determination of the peak value of the magnetic field strength 11
6.4.2 Determination of the peak value of the magnetic flux density 12
6.4.3 Determination of the r.m.s. amplitude permeability and the relative amplitude permeability 12
6.4.4 Determination of the AC magnetization curve 13
7 Measurement of the specific total loss by the wattmeter method 13
7.1 Principle of measurement 13
7.2 Voltage measurement 15
7.2.1 Average type voltmeter 15
7.2.2 R.M.S. type voltmeter 15
7.3 Power measurement 15
7.4 Procedure for the measurement of the specific total loss 15
7.5 Determination of the specific total loss 15
8 Uncertainties 16
9 Test report 16
Annex A (informative) Guidance on requirements for windings and instrumentation in order to minimise additional losses 17
A.1 General 17
A.2 Reduction of additional losses 17
Annex B (informative) Digital sampling technique for the determination of magnetic properties and numerical air flux compensation 18
B.1 General 18
B.2 Technical details and requirements 18
B.3 Calibration aspects 22
B.4 Numerical air flux compensation 22
Annex C (informative) Sinusoidal waveform control by digital means 23
Bibliography 24

Figure 1 – Circuit of the measurement apparatus 10

Figure 2 – Circuit of the conventional analogue wattmeter method (also representing the metrological principle of the digital wattmeter method) 14

Figure 3 – The wattmeter method when connected with the digital sampling technique (example of circuit) 14

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –

Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies in the range 20 Hz to 100 kHz by the use of ring specimens

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) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.

IEC 60404-6 edition 3.1 contains the third edition (2018-05) [documents 68/595/FDIS and 68/600/RVD], its corrigendum 1 (2018-11) and its amendment 1 (2021-07) [documents 68/669/CDV and 68/684/RVC].

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

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

This third edition constitutes a technical revision.

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

a) adaption to modern measurement and evaluation methods, in particular the introduction of the widely spread digital sampling method for the acquisition and evaluation of the measured data;
b) limitation of the frequency range up to 100 kHz;
c) deletion of Clause 7 of the second edition that specified the measurement of magnetic properties using a digital impedance bridge;
d) addition of a new Clause 7 on the measurement of the specific total loss by the wattmeter method, including an example of the application of the digital sampling method;
e) addition of an informative annex on the technical details of the digital sampling technique for the determination of magnetic properties.

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

A list of all parts in the IEC 60404 series, published under the general title *Magnetic materials*, can be found on the IEC website.

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

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

MAGNETIC MATERIALS –

Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies in the range 20 Hz to 100 kHz by the use of ring specimens

1 Scope

This part of IEC 60404 specifies methods for the measurement of AC magnetic properties of soft magnetic materials, other than ~~electrical steels and~~ soft ferrites, in the frequency range 20 Hz to 100 kHz. The materials covered by this part of IEC 60404 include those speciality alloys listed in IEC 60404-8-6, amorphous and nano-crystalline soft magnetic materials, pressed and sintered and metal injection moulded parts such as are listed in IEC 60404-8-9, cast parts and magnetically soft composite materials.

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

The measurement of the DC magnetic properties of soft magnetic materials is made in accordance with the ring method of IEC 60404-4. The determinations of the magnetic characteristics of magnetically soft components are made in accordance with IEC 62044-3.

NOTE IEC 62044-3:2000 specifies methods for the measurement of AC magnetic characteristics of magnetically soft components in the frequency range up to 10 MHz.

Normally, the measurements are made at an ambient temperature of (23 ± 5) °C on test specimens which have first been magnetized, then demagnetized. Measurements can be made over other temperature ranges by agreement between parties concerned.

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 60050-121, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 121: Electromagnetism*

IEC 60050-221, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 221: Magnetic materials and components*

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

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

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

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

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

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 28
1 Domaine d'application 30
2 Références normatives 30
3 Termes et définitions 31
4 Principes généraux de mesure 31
4.1 Principe de la méthode du tore 31
4.2 Eprouvette d'essai 31
4.3 Enroulements 32
5 Mesures de température 33
6 Mesure de la perméabilité d'amplitude relative et de la courbe d'aimantation en courant alternatif 33
6.1 Généralités 33
6.2 Appareils et branchements 33
6.3 Forme d'onde de la tension secondaire induite ou du courant magnétisant 34
6.4 Détermination des caractéristiques 35
6.4.1 Détermination de la valeur de crête du champ magnétique 35
6.4.2 Détermination de la valeur de crête de l'induction magnétique 36
6.4.3 Détermination de la perméabilité d'amplitude efficace et de la perméabilité d'amplitude relative 37
6.4.4 Détermination de la courbe d'aimantation en courant alternatif 37
7 Mesure des pertes totales massiques par la méthode du wattmètre 37
7.1 Principe de mesure 37
7.2 Mesure de la tension 39
7.2.1 Voltmètre de valeur moyenne 39
7.2.2 Voltmètre de valeur efficace 39
7.3 Mesure de la puissance 39
7.4 Procédure de mesure des pertes totales massiques 40
7.5 Détermination des pertes totales massiques 40
8 Incertitudes 40
9 Rapport d'essai 41
Annexe A (informative) Recommandations relatives aux exigences des enroulements et de l'instrumentation afin de réduire le plus possible les pertes complémentaires 42
A.1 Généralités 42
A.2 Réduction des pertes complémentaires 42
Annexe B (informative) Technique d'échantillonnage numérique pour la détermination des propriétés magnétiques et compensation numérique du flux d'air 43
B.1 Généralités 43
B.2 Détails techniques et exigences 44
B.3 Aspects liés à l'étalonnage 47
B.4 Compensation numérique du flux d'air 48
Annexe C (informative) Contrôle de la forme d'onde sinusoïdale par des moyens numériques 49
Bibliographie 50

Figure 1 – Circuit de l'appareillage de mesure 34

Figure 2 – Circuit de la méthode du wattmètre analogique conventionnel (représentant également le principe métrologique de la méthode du wattmètre numérique) 38

Figure 3 – Méthode du wattmètre associée à la technique d'échantillonnage numérique (exemple de circuit) 39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 6: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux métalliques et des matériaux en poudre magnétiquement doux, aux fréquences comprises entre 20 Hz et 100 kHz, sur des éprouvettes en forme de tore

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. A 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'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

L'IEC 60404-6 édition 3.1 contient la troisième édition (2018-05) [documents 68/595/FDIS et 68/600/RVD], son corrigendum 1 (2018-11) et son amendement 1 (2021-07) [documents 68/669/CDV et 68/684/RVC].

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

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

Cette troisième édition constitue une révision technique.

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

a) adaptation aux méthodes modernes de mesure et d'évaluation, notamment l'introduction de la méthode d'échantillonnage numérique largement répandue pour l'acquisition et l'évaluation des données mesurées;

b) limitation de la gamme de fréquences à 100 kHz;

c) suppression de l'Article 7 de la deuxième édition qui spécifiait la mesure des propriétés magnétiques à l'aide d'un pont d'impédance numérique;

d) ajout d'un nouvel Article 7 sur la mesure des pertes totales massiques par la méthode du wattmètre, y compris un exemple d'application de la méthode d'échantillonnage numérique;

e) ajout d'une annexe informative concernant les détails de la technique d'échantillonnage numérique pour déterminer les propriétés magnétiques du matériau.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60404, publiées sous le titre général *Matériaux magnétiques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IMPORTANT – Le logo *"colour inside"* qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 6: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux métalliques et des matériaux en poudre magnétiquement doux, aux fréquences comprises entre 20 Hz et 100 kHz, sur des éprouvettes en forme de tore

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60404 spécifie les méthodes à utiliser pour mesurer les propriétés magnétiques en courant alternatif des matériaux magnétiques doux autres que ~~les aciers électriques et~~ les ferrites doux, aux fréquences comprises entre 20 Hz et 100 kHz. Les matériaux couverts par la présente partie de l'IEC 60404 incluent les alliages de spécialité répertoriés dans l'IEC 60404-8-6, les matériaux magnétiques doux amorphes et nanocristallins, les pièces compressées frittées et les pièces moulées par injection de métal répertoriées dans l'IEC 60404-8-9, ainsi que les pièces moulées et les matériaux composites magnétiquement doux.

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

La mesure des propriétés magnétiques en courant continu des matériaux magnétiquement doux est réalisée selon la méthode du tore de l'IEC 60404-4. Les déterminations des propriétés magnétiques des composants magnétiquement doux sont réalisées selon l'IEC 62044-3.

NOTE L'IEC 62044-3:2000 spécifie les méthodes à utiliser pour mesurer les propriétés magnétiques en courant alternatif des composants magnétiquement doux, aux fréquences allant jusqu'à 10 MHz.

Normalement, les mesures sont réalisées à une température ambiante de (23 ± 5) °C sur des éprouvettes d'essai qui ont été dans un premier temps aimantées, puis désaimantées. Des mesures peuvent être réalisées pour d'autres plages de températures, sous réserve d'un accord entre les parties concernées.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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 60050-121, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 121: Electromagnétisme*

IEC 60050-221, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 221: Matériaux et composants magnétiques*

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

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

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

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

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

ISO/IEC Guide 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

IEC 60404-6

Edition 3.1 2021-07
CONSOLIDATED VERSION

FINAL VERSION

VERSION FINALE

Magnetic materials –
Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies in the range 20 Hz to 100 kHz by the use of ring specimens

Matériaux magnétiques –
Partie 6: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux métalliques et des matériaux en poudre magnétiquement doux, aux fréquences comprises entre 20 Hz et 100 kHz, sur des éprouvettes en forme de tore

IEC 60404-6:2018-05+AMD1:2021-07 CSV(en-fr)

CONTENTS

FOREWORD 4
1 Scope 6
2 Normative references 6
3 Terms and definitions 7
4 General principles of measurement 7
4.1 Principle of the ring method 7
4.2 Test specimen 7
4.3 Windings 8
5 Temperature measurements 9
6 Measurement of the relative amplitude permeability and the AC magnetization curve 9
6.1 General 9
6.2 Apparatus and connections 9
6.3 Waveform of induced secondary voltage or magnetizing current 10
6.4 Determination of characteristics 11
6.4.1 Determination of the peak value of the magnetic field strength 11
6.4.2 Determination of the peak value of the magnetic flux density 12
6.4.3 Determination of the r.m.s. amplitude permeability and the relative amplitude permeability 12
6.4.4 Determination of the AC magnetization curve 13
7 Measurement of the specific total loss by the wattmeter method 13
7.1 Principle of measurement 13
7.2 Voltage measurement 15
7.2.1 Average type voltmeter 15
7.2.2 R.M.S. type voltmeter 15
7.3 Power measurement 15
7.4 Procedure for the measurement of the specific total loss 15
7.5 Determination of the specific total loss 15
8 Uncertainties 16
9 Test report 16
Annex A (informative) Guidance on requirements for windings and instrumentation in order to minimise additional losses 17
A.1 General 17
A.2 Reduction of additional losses 17
Annex B (informative) Digital sampling technique for the determination of magnetic properties and numerical air flux compensation 18
B.1 General 18
B.2 Technical details and requirements 18
B.3 Calibration aspects 22
B.4 Numerical air flux compensation 22
Annex C (informative) Sinusoidal waveform control by digital means 23
Bibliography 24

Figure 1 – Circuit of the measurement apparatus 10

Figure 2 – Circuit of the conventional analogue wattmeter method (also representing the metrological principle of the digital wattmeter method) 14

Figure 3 – The wattmeter method when connected with the digital sampling technique (example of circuit) 14

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –

Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies in the range 20 Hz to 100 kHz by the use of ring specimens

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) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.

IEC 60404-6 edition 3.1 contains the third edition (2018-05) [documents 68/595/FDIS and 68/600/RVD], its corrigendum 1 (2018-11) and its amendment 1 (2021-07) [documents 68/669/CDV and 68/684/RVC].

This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

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

This third edition constitutes a technical revision.

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

a) adaption to modern measurement and evaluation methods, in particular the introduction of the widely spread digital sampling method for the acquisition and evaluation of the measured data;
b) limitation of the frequency range up to 100 kHz;
c) deletion of Clause 7 of the second edition that specified the measurement of magnetic properties using a digital impedance bridge;
d) addition of a new Clause 7 on the measurement of the specific total loss by the wattmeter method, including an example of the application of the digital sampling method;
e) addition of an informative annex on the technical details of the digital sampling technique for the determination of magnetic properties.

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

A list of all parts in the IEC 60404 series, published under the general title *Magnetic materials*, can be found on the IEC website.

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

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

MAGNETIC MATERIALS –

Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically soft metallic and powder materials at frequencies in the range 20 Hz to 100 kHz by the use of ring specimens

1 Scope

This part of IEC 60404 specifies methods for the measurement of AC magnetic properties of soft magnetic materials, other than soft ferrites, in the frequency range 20 Hz to 100 kHz. The materials covered by this part of IEC 60404 include those speciality alloys listed in IEC 60404-8-6, amorphous and nano-crystalline soft magnetic materials, pressed and sintered and metal injection moulded parts such as are listed in IEC 60404-8-9, cast parts and magnetically soft composite materials.

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

The measurement of the DC magnetic properties of soft magnetic materials is made in accordance with the ring method of IEC 60404-4. The determinations of the magnetic characteristics of magnetically soft components are made in accordance with IEC 62044-3.

NOTE IEC 62044-3:2000 specifies methods for the measurement of AC magnetic characteristics of magnetically soft components in the frequency range up to 10 MHz.

Normally, the measurements are made at an ambient temperature of (23 ± 5) °C on test specimens which have first been magnetized, then demagnetized. Measurements can be made over other temperature ranges by agreement between parties concerned.

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 60050-121, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 121: Electromagnetism*

IEC 60050-221, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 221: Magnetic materials and components*

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

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

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

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

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

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 28
1 Domaine d'application 30
2 Références normatives 30
3 Termes et définitions 31
4 Principes généraux de mesure 31
4.1 Principe de la méthode du tore 31
4.2 Eprouvette d'essai 31
4.3 Enroulements 32
5 Mesures de température 33
6 Mesure de la perméabilité d'amplitude relative et de la courbe d'aimantation en courant alternatif 33
6.1 Généralités 33
6.2 Appareils et branchements 33
6.3 Forme d'onde de la tension secondaire induite ou du courant magnétisant 34
6.4 Détermination des caractéristiques 35
6.4.1 Détermination de la valeur de crête du champ magnétique 35
6.4.2 Détermination de la valeur de crête de l'induction magnétique 36
6.4.3 Détermination de la perméabilité d'amplitude efficace et de la perméabilité d'amplitude relative 37
6.4.4 Détermination de la courbe d'aimantation en courant alternatif 37
7 Mesure des pertes totales massiques par la méthode du wattmètre 37
7.1 Principe de mesure 37
7.2 Mesure de la tension 39
7.2.1 Voltmètre de valeur moyenne 39
7.2.2 Voltmètre de valeur efficace 39
7.3 Mesure de la puissance 39
7.4 Procédure de mesure des pertes totales massiques 40
7.5 Détermination des pertes totales massiques 40
8 Incertitudes 40
9 Rapport d'essai 41
Annexe A (informative) Recommandations relatives aux exigences des enroulements et de l'instrumentation afin de réduire le plus possible les pertes complémentaires 42
A.1 Généralités 42
A.2 Réduction des pertes complémentaires 42
Annexe B (informative) Technique d'échantillonnage numérique pour la détermination des propriétés magnétiques et compensation numérique du flux d'air 43
B.1 Généralités 43
B.2 Détails techniques et exigences 44
B.3 Aspects liés à l'étalonnage 47
B.4 Compensation numérique du flux d'air 48
Annexe C (informative) Contrôle de la forme d'onde sinusoïdale par des moyens numériques 49
Bibliographie 50

Figure 1 – Circuit de l'appareillage de mesure 34

Figure 2 – Circuit de la méthode du wattmètre analogique conventionnel (représentant également le principe métrologique de la méthode du wattmètre numérique) 38

Figure 3 – Méthode du wattmètre associée à la technique d'échantillonnage numérique (exemple de circuit) 39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 6: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux métalliques et des matériaux en poudre magnétiquement doux, aux fréquences comprises entre 20 Hz et 100 kHz, sur des éprouvettes en forme de tore

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. A 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'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

L'IEC 60404-6 édition 3.1 contient la troisième édition (2018-05) [documents 68/595/FDIS et 68/600/RVD], son corrigendum 1 (2018-11) et son amendement 1 (2021-07) [documents 68/669/CDV et 68/684/RVC].

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

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

Cette troisième édition constitue une révision technique.

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

a) adaptation aux méthodes modernes de mesure et d'évaluation, notamment l'introduction de la méthode d'échantillonnage numérique largement répandue pour l'acquisition et l'évaluation des données mesurées;
b) limitation de la gamme de fréquences à 100 kHz;
c) suppression de l'Article 7 de la deuxième édition qui spécifiait la mesure des propriétés magnétiques à l'aide d'un pont d'impédance numérique;
d) ajout d'un nouvel Article 7 sur la mesure des pertes totales massiques par la méthode du wattmètre, y compris un exemple d'application de la méthode d'échantillonnage numérique;
e) ajout d'une annexe informative concernant les détails de la technique d'échantillonnage numérique pour déterminer les propriétés magnétiques du matériau.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60404, publiées sous le titre général *Matériaux magnétiques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 6: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux métalliques et des matériaux en poudre magnétiquement doux, aux fréquences comprises entre 20 Hz et 100 kHz, sur des éprouvettes en forme de tore

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60404 spécifie les méthodes à utiliser pour mesurer les propriétés magnétiques en courant alternatif des matériaux magnétiques doux autres que les ferrites doux, aux fréquences comprises entre 20 Hz et 100 kHz. Les matériaux couverts par la présente partie de l'IEC 60404 incluent les alliages de spécialité répertoriés dans l'IEC 60404-8-6, les matériaux magnétiques doux amorphes et nanocristallins, les pièces compressées frittées et les pièces moulées par injection de métal répertoriées dans l'IEC 60404-8-9, ainsi que les pièces moulées et les matériaux composites magnétiquement doux.

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

La mesure des propriétés magnétiques en courant continu des matériaux magnétiquement doux est réalisée selon la méthode du tore de l'IEC 60404-4. Les déterminations des propriétés magnétiques des composants magnétiquement doux sont réalisées selon l'IEC 62044-3.

NOTE L'IEC 62044-3:2000 spécifie les méthodes à utiliser pour mesurer les propriétés magnétiques en courant alternatif des composants magnétiquement doux, aux fréquences allant jusqu'à 10 MHz.

Normalement, les mesures sont réalisées à une température ambiante de (23 ± 5) °C sur des éprouvettes d'essai qui ont été dans un premier temps aimantées, puis désaimantées. Des mesures peuvent être réalisées pour d'autres plages de températures, sous réserve d'un accord entre les parties concernées.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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 60050-121, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 121: Electromagnétisme*

IEC 60050-221, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 221: Matériaux et composants magnétiques*

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

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

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

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

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

ISO/IEC Guide 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*