

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



Magnetic materials –

Part 15: Methods for the determination of the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials

Matériaux magnétiques –

Partie 15: Méthodes de détermination de la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.01; 29.030

ISBN 978-2-8322-3688-8

**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.**

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE



Magnetic materials –

Part 15: Methods for the determination of the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials

Matériaux magnétiques –

Partie 15: Méthodes de détermination de la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques

CONTENTS

FOREWORD	3
INTRODUCTION	5
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Solenoid and magnetic moment method	7
4.1 General	7
4.2 Principle	7
4.3 Apparatus	9
4.4 Test specimen for the solenoid method	12
4.5 Procedure	13
4.6 Calculation	15
4.7 Uncertainty	16
5 Magnetic balance method	16
5.1 Principle	16
5.2 Disc inserts and reference materials	17
5.3 Test specimen	17
5.4 Procedure	18
5.5 Evaluation of the relative magnetic permeability	18
5.6 Uncertainty	18
6 Permeability meter method	18
6.1 Principle	18
6.2 Reference specimens and materials	19
6.3 Test specimen	20
6.4 Procedure	20
6.5 Uncertainty	20
7 Test report	20
Annex A (informative) Correction for self-demagnetization	21
Bibliography	23
Figure 1 – Circuit diagram for the solenoid method with withdrawal of test specimen	8
Figure 2 – Coil system for the determination of the magnetic dipole moment	11
Figure 3 – Magnetic balance: side view	17
Figure 4 – Schematic of the permeability meter arrangement and magnetic field distribution without and with test specimen	19
Figure 5 – Circuit diagram for the solenoid method with reversing of magnetizing current	9
Table 1 – Relative magnetic permeability ranges for the methods described	6
Table 2 – Cylindrical sample with a 1:1 aspect ratio	11
Table 3 – Circular cross section rod with an aspect ratio of 10:1	12

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –

Part 15: Methods for the determination of the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials

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.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of IEC 60404-15 bears the edition number 1.1. It consists of the first edition (2012-09) [documents 68/442/FDIS and 68/443/RVD] and its amendment 1 (2016-12) [documents 68/531/CDV and 68/544/RVC]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

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 60404-15 has been prepared by IEC technical committee 68: Magnetic alloys and steels.

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

A list of all the parts in the IEC 60404 series, 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.

INTRODUCTION

The determination of the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials is often required to assess their effect on the ambient magnetic field. Typical feebly magnetic materials are austenitic stainless steels and "non-magnetic" brass.

The relative magnetic permeability of some of these materials can vary significantly with the applied magnetic field strength. In the majority of cases, these materials find application in the ambient earth's magnetic field. This field in Europe is 35 A/m to 40 A/m, in the far East, it is 25 A/m to 35 A/m and in North America, it is 25 A/m to 35 A/m. However, at present, methods of measurement are not available to determine the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials at such a low value of magnetic field strength.

Studies of the properties of feebly magnetic materials have been carried out, primarily with a view to the production of improved reference materials. These studies have shown [1]¹ that it is possible to produce reference materials which have a substantially constant relative magnetic permeability over the range from the earth's magnetic field to at least a magnetic field strength of 100 kA/m.

Since conventional metallic materials can also be used as reference materials their relative magnetic permeability can be determined using the reference method. It is important that the magnetic field strength used during the determination of the relative magnetic permeability is stated for all materials but in particular for conventional materials since the changes with applied magnetic field can be large. This behaviour also needs to be considered when using reference materials made from conventional materials to calibrate comparator methods. This is because these methods use magnetic fields that vary through the volume of the material being tested and this makes it difficult to know the relative magnetic permeability to use for the calibration.

Where the effect of a feebly magnetic material on the ambient earth's magnetic field is critical, the direct measurement of this effect using a sensitive magnetometer should be considered.

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

MAGNETIC MATERIALS –

Part 15: Methods for the determination of the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials

1 Scope

This part of IEC 60404 specifies a solenoid method, a magnetic moment method, a magnetic balance method and a permeability meter method for the determination of the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials (including austenitic stainless steel). The magnetic balance and permeability meter methods are both comparison methods calibrated using reference materials to determine the value of the relative magnetic permeability of the test specimen. The relative magnetic permeability range for each of these methods is shown in Table 1. The methods given are for applied magnetic field strengths of between 5 kA/m and 100 kA/m.

Table 1 – Relative magnetic permeability ranges for the methods described

Measurement method	Relative magnetic permeability range
Solenoid	1,003 to 2
Magnetic moment	1,003 to 1,2
Magnetic balance	1,003 to 5
Permeability meter	1,003 to 2

NOTE 1 The relative magnetic permeability range given for the magnetic balance method covers the inserts provided with a typical instrument. These can only be assessed at values for which calibrated reference materials exist.

NOTE 2 For a relative magnetic permeability larger than 2, a reference material cannot be calibrated using this written standard. A note of this is given in the test report explaining that the values measured using the magnetic balance are for indication only.

The solenoid method is the reference method. The magnetic moment method described is used mainly for the measurement of the relative magnetic permeability of mass standards.

Two comparator methods used by industry are described. These can be calibrated using reference materials for which the relative magnetic permeability has been determined using the reference method. When suitable, the magnetic moment method can also be used. The dimensions of the reference material need to be given careful consideration when determining the uncertainty in the calibration value due to self-demagnetization effects. See Annex A for more information on correcting for self-demagnetization.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org/>)

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	25
INTRODUCTION	27
1 Domaine d'application	28
2 Références normatives	29
3 Termes et définitions	29
4 Méthode utilisant un solénoïde et méthode utilisant le moment magnétique	29
4.1 Généralités	29
4.2 Principe	29
4.3 Appareillage	31
4.4 Éprouvette pour la méthode utilisant un solénoïde	34
4.5 Procédure	35
4.6 Calcul	37
4.7 Incertitudes	38
5 Méthode de la balance magnétique	38
5.1 Principe	38
5.2 Disques et matériaux de référence	39
5.3 Éprouvette	40
5.4 Procédure	40
5.5 Évaluation de la perméabilité magnétique relative	40
5.6 Incertitudes	40
6 Méthode de l'appareil de mesure de la perméabilité	41
6.1 Principe	41
6.2 Éprouvettes et matériaux de référence	42
6.3 Éprouvette	42
6.4 Procédure	42
6.5 Incertitudes	43
7 Rapport d'essai	43
Annexe A (informative) Correction pour l'autodésaimantation	44
Bibliographie	46
Figure 1 – Schéma de circuit de la méthode utilisant un solénoïde avec retrait de l'éprouvette	30
Figure 2 – Système de bobines pour la détermination du moment du dipôle magnétique	33
Figure 3 – Balance magnétique vue de côté	39
Figure 4 – Schéma de la disposition de l'appareil de mesure de la perméabilité et de la distribution du champ magnétique avec et sans éprouvette	42
Figure 5 – Schéma de circuit de la méthode utilisant un solénoïde avec inversion du courant d'aimantation	31
Tableau 1 – Gammes de perméabilité magnétique relative pour les méthodes décrites	28
Tableau 2 – Échantillon cylindrique de rapport 1:1	33
Tableau 3 – Tige de section circulaire de rapport 10:1	34

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 15: Méthodes de détermination de la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques

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.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(s) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de l'IEC 60404-15 porte le numéro d'édition 1.1. Elle comprend la première édition (2012-09) [documents 68/442/FDIS et 68/443/RVD] et son amendement 1 (2016-12) [documents 68/531/CDV et 68/544/RVC]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

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 60404-15 a été établie par le comité d'études 68 de l'IEC: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60404, présentée 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.

INTRODUCTION

Il est souvent nécessaire de déterminer la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques pour évaluer leur effet sur le champ magnétique ambiant. Les matériaux faiblement magnétiques typiques sont les aciers inoxydables austénitiques et le laiton "non magnétique".

La perméabilité magnétique relative de certains de ces matériaux peut varier de manière significative avec l'intensité du champ magnétique appliqué. Dans la majorité des cas, ces matériaux sont utilisés dans des applications relatives au champ magnétique terrestre ambiant. En Europe, ce champ est compris entre 35 A/m et 40 A/m, en Extrême-Orient, il est compris entre 25 A/m et 35 A/m et en Amérique du Nord, entre 25 A/m et 35 A/m. Toutefois, à l'heure actuelle, aucune méthode de mesure ne permet de déterminer la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques à une valeur si faible de l'intensité du champ magnétique.

Les propriétés des matériaux faiblement magnétiques ont été étudiées, principalement pour produire des matériaux de référence améliorés. Ces études ont montré [1]¹ qu'il est possible de produire des matériaux de référence qui présentent une perméabilité magnétique relative très constante sur la gamme allant du champ magnétique terrestre à une intensité de champ magnétique supérieure ou égale à 100 kA/m.

Puisque des matériaux métalliques traditionnels peuvent également être utilisés comme des matériaux de référence, leur perméabilité magnétique relative peut être déterminée en utilisant la méthode de référence. Il est important que l'intensité du champ magnétique utilisée pour déterminer la perméabilité magnétique relative soit établie pour tous les matériaux, mais en particulier pour les matériaux traditionnels puisque les variations avec le champ magnétique appliqué peuvent être importantes. Ce comportement nécessite également d'être considéré si les matériaux de référence utilisés sont faits à partir de matériaux traditionnels pour étalonner les méthodes de comparaison. Cela est dû au fait que ces méthodes utilisent des champs magnétiques qui varient dans le volume du matériau soumis à l'essai et il est difficile de déterminer la perméabilité magnétique relative à utiliser pour l'étalonnage.

Lorsque l'effet d'un matériau faiblement magnétique sur le champ magnétique terrestre ambiant est critique, il convient de considérer la mesure directe de cet effet en utilisant un magnétomètre sensible.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 15: Méthodes de détermination de la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60404 spécifie une méthode utilisant un solénoïde, une méthode utilisant le moment magnétique, une méthode utilisant une balance magnétique et une méthode utilisant un appareil de mesure de la perméabilité pour déterminer la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques (y compris l'acier inoxydable austénitique). La méthode utilisant une balance magnétique et la méthode utilisant un appareil de mesure de la perméabilité sont toutes les deux des méthodes de comparaison étalonnées utilisant des matériaux de référence en vue de déterminer la valeur de la perméabilité magnétique relative de l'éprouvette. La gamme de perméabilité magnétique relative pour chacune de ces méthodes est présentée dans le Tableau 1. Les méthodes données portent sur des intensités de champ magnétique appliqué comprises entre 5 kA/m et 100 kA/m.

Tableau 1 – Gammes de perméabilité magnétique relative pour les méthodes décrites

Méthode de mesure	Gamme de perméabilité magnétique relative
Solénoïde	1,003 à 2
Moment magnétique	1,003 à 1,2
Balance magnétique	1,003 à 5
Appareil de mesure de la perméabilité	1,003 à 2

NOTE 1 La gamme de perméabilité magnétique relative donnée pour la méthode utilisant une balance magnétique couvre les disques fournis avec un instrument typique. Ces disques peuvent seulement être évalués à des valeurs pour lesquelles des matériaux de référence étalonnés existent.

NOTE 2 Pour une perméabilité magnétique relative supérieure à 2, un matériau de référence ne peut pas être étalonné à l'aide de la présente Norme écrite. Cela fait l'objet d'une note dans le rapport d'essai pour expliquer que les valeurs mesurées en utilisant la méthode utilisant une balance magnétique sont uniquement données à titre indicatif.

La méthode utilisant un solénoïde est la méthode de référence. La méthode utilisant le moment magnétique décrite est principalement utilisée pour mesurer la perméabilité magnétique relative des étalons de masse.

Deux méthodes de comparaison utilisées par l'industrie sont décrites. Celles-ci peuvent être étalonnées en utilisant des matériaux de référence pour lesquels la perméabilité magnétique relative a été déterminée en utilisant la méthode de référence. Si elle est appropriée, la méthode utilisant le moment magnétique peut également être utilisée. Les dimensions du matériau de référence nécessitent de faire l'objet d'une attention particulière dans le cadre de la détermination de l'incertitude de la valeur d'étalonnage en raison des effets d'auto-désaimantation. Se reporter à l'Annexe A pour plus d'informations sur la correction de l'auto-désaimantation.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 (toutes les parties), *Vocabulaire Électrotechnique International* (disponible sur <http://www.electropedia.org/>)

Guide ISO/IEC 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

FINAL VERSION

VERSION FINALE

Magnetic materials –

Part 15: Methods for the determination of the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials

Matériaux magnétiques –

Partie 15: Méthodes de détermination de la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques

CONTENTS

FOREWORD	3
INTRODUCTION	5
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Solenoid and magnetic moment method	7
4.1 General	7
4.2 Principle	7
4.3 Apparatus	9
4.4 Test specimen for the solenoid method	12
4.5 Procedure	13
4.6 Calculation	14
4.7 Uncertainty	15
5 Magnetic balance method	16
5.1 Principle	16
5.2 Disc inserts and reference materials	17
5.3 Test specimen	17
5.4 Procedure	17
5.5 Evaluation of the relative magnetic permeability	18
5.6 Uncertainty	18
6 Permeability meter method	18
6.1 Principle	18
6.2 Reference specimens and materials	19
6.3 Test specimen	19
6.4 Procedure	19
6.5 Uncertainty	20
7 Test report	20
Annex A (informative) Correction for self-demagnetization	21
Bibliography	23
Figure 1 – Circuit diagram for the solenoid method with withdrawal of test specimen	8
Figure 2 – Coil system for the determination of the magnetic dipole moment	11
Figure 3 – Magnetic balance: side view	16
Figure 4 – Schematic of the permeability meter arrangement and magnetic field distribution without and with test specimen	19
Figure 5 – Circuit diagram for the solenoid method with reversing of magnetizing current	9
Table 1 – Relative magnetic permeability ranges for the methods described	6
Table 2 – Cylindrical sample with a 1:1 aspect ratio	11
Table 3 – Circular cross section rod with an aspect ratio of 10:1	12

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –

Part 15: Methods for the determination of the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials

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.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of IEC 60404-15 bears the edition number 1.1. It consists of the first edition (2012-09) [documents 68/442/FDIS and 68/443/RVD] and its amendment 1 (2016-12) [documents 68/531/CDV and 68/544/RVC]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

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 60404-15 has been prepared by IEC technical committee 68: Magnetic alloys and steels.

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

A list of all the parts in the IEC 60404 series, 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.

INTRODUCTION

The determination of the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials is often required to assess their effect on the ambient magnetic field. Typical feebly magnetic materials are austenitic stainless steels and "non-magnetic" brass.

The relative magnetic permeability of some of these materials can vary significantly with the applied magnetic field strength. In the majority of cases, these materials find application in the ambient earth's magnetic field. This field in Europe is 35 A/m to 40 A/m, in the far East, it is 25 A/m to 35 A/m and in North America, it is 25 A/m to 35 A/m. However, at present, methods of measurement are not available to determine the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials at such a low value of magnetic field strength.

Studies of the properties of feebly magnetic materials have been carried out, primarily with a view to the production of improved reference materials. These studies have shown [1]¹ that it is possible to produce reference materials which have a substantially constant relative magnetic permeability over the range from the earth's magnetic field to at least a magnetic field strength of 100 kA/m.

Since conventional metallic materials can also be used as reference materials their relative magnetic permeability can be determined using the reference method. It is important that the magnetic field strength used during the determination of the relative magnetic permeability is stated for all materials but in particular for conventional materials since the changes with applied magnetic field can be large. This behaviour also needs to be considered when using reference materials made from conventional materials to calibrate comparator methods. This is because these methods use magnetic fields that vary through the volume of the material being tested and this makes it difficult to know the relative magnetic permeability to use for the calibration.

Where the effect of a feebly magnetic material on the ambient earth's magnetic field is critical, the direct measurement of this effect using a sensitive magnetometer should be considered.

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography.

MAGNETIC MATERIALS –

Part 15: Methods for the determination of the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials

1 Scope

This part of IEC 60404 specifies a solenoid method, a magnetic moment method, a magnetic balance method and a permeability meter method for the determination of the relative magnetic permeability of feebly magnetic materials (including austenitic stainless steel). The magnetic balance and permeability meter methods are both comparison methods calibrated using reference materials to determine the value of the relative magnetic permeability of the test specimen. The relative magnetic permeability range for each of these methods is shown in Table 1. The methods given are for applied magnetic field strengths of between 5 kA/m and 100 kA/m.

Table 1 – Relative magnetic permeability ranges for the methods described

Measurement method	Relative magnetic permeability range
Solenoid	1,003 to 2
Magnetic moment	1,003 to 1,2
Magnetic balance	1,003 to 5
Permeability meter	1,003 to 2

NOTE 1 The relative magnetic permeability range given for the magnetic balance method covers the inserts provided with a typical instrument. These can only be assessed at values for which calibrated reference materials exist.

NOTE 2 For a relative magnetic permeability larger than 2, a reference material cannot be calibrated using this written standard. A note of this is given in the test report explaining that the values measured using the magnetic balance are for indication only.

The solenoid method is the reference method. The magnetic moment method described is used mainly for the measurement of the relative magnetic permeability of mass standards.

Two comparator methods used by industry are described. These can be calibrated using reference materials for which the relative magnetic permeability has been determined using the reference method. When suitable, the magnetic moment method can also be used. The dimensions of the reference material need to be given careful consideration when determining the uncertainty in the calibration value due to self-demagnetization effects. See Annex A for more information on correcting for self-demagnetization.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org/>)

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	25
INTRODUCTION	27
1 Domaine d'application	28
2 Références normatives	29
3 Termes et définitions	29
4 Méthode utilisant un solénoïde et méthode utilisant le moment magnétique	29
4.1 Généralités	29
4.2 Principe	29
4.3 Appareillage	31
4.4 Éprouvette pour la méthode utilisant un solénoïde	34
4.5 Procédure	35
4.6 Calcul	36
4.7 Incertitudes	37
5 Méthode de la balance magnétique	38
5.1 Principe	38
5.2 Disques et matériaux de référence	39
5.3 Éprouvette	39
5.4 Procédure	39
5.5 Évaluation de la perméabilité magnétique relative	40
5.6 Incertitudes	40
6 Méthode de l'appareil de mesure de la perméabilité	40
6.1 Principe	40
6.2 Éprouvettes et matériaux de référence	41
6.3 Éprouvette	41
6.4 Procédure	41
6.5 Incertitudes	42
7 Rapport d'essai	42
Annexe A (informative) Correction pour l'autodésaimantation	43
Bibliographie	45
Figure 1 – Schéma de circuit de la méthode utilisant un solénoïde avec retrait de l'éprouvette	30
Figure 2 – Système de bobines pour la détermination du moment du dipôle magnétique	33
Figure 3 – Balance magnétique vue de côté	38
Figure 4 – Schéma de la disposition de l'appareil de mesure de la perméabilité et de la distribution du champ magnétique avec et sans éprouvette	41
Figure 5 – Schéma de circuit de la méthode utilisant un solénoïde avec inversion du courant d'aimantation	31
Tableau 1 – Gammes de perméabilité magnétique relative pour les méthodes décrites	28
Tableau 2 – Échantillon cylindrique de rapport 1:1	33
Tableau 3 – Tige de section circulaire de rapport 10:1	34

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 15: Méthodes de détermination de la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques

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.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(s) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de l'IEC 60404-15 porte le numéro d'édition 1.1. Elle comprend la première édition (2012-09) [documents 68/442/FDIS et 68/443/RVD] et son amendement 1 (2016-12) [documents 68/531/CDV et 68/544/RVC]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

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 60404-15 a été établie par le comité d'études 68 de l'IEC: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60404, présentée 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.

INTRODUCTION

Il est souvent nécessaire de déterminer la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques pour évaluer leur effet sur le champ magnétique ambiant. Les matériaux faiblement magnétiques typiques sont les aciers inoxydables austénitiques et le laiton "non magnétique".

La perméabilité magnétique relative de certains de ces matériaux peut varier de manière significative avec l'intensité du champ magnétique appliqué. Dans la majorité des cas, ces matériaux sont utilisés dans des applications relatives au champ magnétique terrestre ambiant. En Europe, ce champ est compris entre 35 A/m et 40 A/m, en Extrême-Orient, il est compris entre 25 A/m et 35 A/m et en Amérique du Nord, entre 25 A/m et 35 A/m. Toutefois, à l'heure actuelle, aucune méthode de mesure ne permet de déterminer la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques à une valeur si faible de l'intensité du champ magnétique.

Les propriétés des matériaux faiblement magnétiques ont été étudiées, principalement pour produire des matériaux de référence améliorés. Ces études ont montré [1]¹ qu'il est possible de produire des matériaux de référence qui présentent une perméabilité magnétique relative très constante sur la gamme allant du champ magnétique terrestre à une intensité de champ magnétique supérieure ou égale à 100 kA/m.

Puisque des matériaux métalliques traditionnels peuvent également être utilisés comme des matériaux de référence, leur perméabilité magnétique relative peut être déterminée en utilisant la méthode de référence. Il est important que l'intensité du champ magnétique utilisée pour déterminer la perméabilité magnétique relative soit établie pour tous les matériaux, mais en particulier pour les matériaux traditionnels puisque les variations avec le champ magnétique appliqué peuvent être importantes. Ce comportement nécessite également d'être considéré si les matériaux de référence utilisés sont faits à partir de matériaux traditionnels pour étalonner les méthodes de comparaison. Cela est dû au fait que ces méthodes utilisent des champs magnétiques qui varient dans le volume du matériau soumis à l'essai et il est difficile de déterminer la perméabilité magnétique relative à utiliser pour l'étalonnage.

Lorsque l'effet d'un matériau faiblement magnétique sur le champ magnétique terrestre ambiant est critique, il convient de considérer la mesure directe de cet effet en utilisant un magnétomètre sensible.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 15: Méthodes de détermination de la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60404 spécifie une méthode utilisant un solénoïde, une méthode utilisant le moment magnétique, une méthode utilisant une balance magnétique et une méthode utilisant un appareil de mesure de la perméabilité pour déterminer la perméabilité magnétique relative des matériaux faiblement magnétiques (y compris l'acier inoxydable austénitique). La méthode utilisant une balance magnétique et la méthode utilisant un appareil de mesure de la perméabilité sont toutes les deux des méthodes de comparaison étalonnées utilisant des matériaux de référence en vue de déterminer la valeur de la perméabilité magnétique relative de l'éprouvette. La gamme de perméabilité magnétique relative pour chacune de ces méthodes est présentée dans le Tableau 1. Les méthodes données portent sur des intensités de champ magnétique appliqué comprises entre 5 kA/m et 100 kA/m.

Tableau 1 – Gammes de perméabilité magnétique relative pour les méthodes décrites

Méthode de mesure	Gamme de perméabilité magnétique relative
Solénoïde	1,003 à 2
Moment magnétique	1,003 à 1,2
Balance magnétique	1,003 à 5
Appareil de mesure de la perméabilité	1,003 à 2

NOTE 1 La gamme de perméabilité magnétique relative donnée pour la méthode utilisant une balance magnétique couvre les disques fournis avec un instrument typique. Ces disques peuvent seulement être évalués à des valeurs pour lesquelles des matériaux de référence étalonnés existent.

NOTE 2 Pour une perméabilité magnétique relative supérieure à 2, un matériau de référence ne peut pas être étalonné à l'aide de la présente Norme écrite. Cela fait l'objet d'une note dans le rapport d'essai pour expliquer que les valeurs mesurées en utilisant la méthode utilisant une balance magnétique sont uniquement données à titre indicatif.

La méthode utilisant un solénoïde est la méthode de référence. La méthode utilisant le moment magnétique décrite est principalement utilisée pour mesurer la perméabilité magnétique relative des étalons de masse.

Deux méthodes de comparaison utilisées par l'industrie sont décrites. Celles-ci peuvent être étalonnées en utilisant des matériaux de référence pour lesquels la perméabilité magnétique relative a été déterminée en utilisant la méthode de référence. Si elle est appropriée, la méthode utilisant le moment magnétique peut également être utilisée. Les dimensions du matériau de référence nécessitent de faire l'objet d'une attention particulière dans le cadre de la détermination de l'incertitude de la valeur d'étalonnage en raison des effets d'auto-désaimantation. Se reporter à l'Annexe A pour plus d'informations sur la correction de l'auto-désaimantation.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 (toutes les parties), *Vocabulaire Électrotechnique International* (disponible sur <http://www.electropedia.org/>)

Guide ISO/IEC 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*