

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

---

## **Magnetic materials –**

**Part 16: Methods of measurement of the magnetic properties of Fe-based amorphous strip by means of a single sheet tester**

## **Matériaux magnétiques –**

**Partie 16: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des bandes en alliage amorphe à base de fer à l'aide de l'essai sur tôle unique**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 17.220.20; 29.030

ISBN 978-2-8322-5426-4

**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.**

## CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references .....	7
3 Terms and definitions .....	7
4 General principles .....	8
4.1 Principle of the method .....	8
4.2 Test specimen .....	9
4.3 Test apparatus.....	9
4.3.1 General .....	9
4.3.2 Yoke .....	10
4.3.3 Windings .....	10
4.3.4 Air flux compensation .....	11
4.3.5 Magnetic shielding.....	11
4.4 Power supply .....	11
4.5 Measuring instruments.....	12
4.6 Digital sampling technique .....	12
5 Measurement procedure .....	13
5.1 Principle of measurement.....	13
5.2 Preparation of measurement.....	13
5.3 Adjustment of power supply .....	14
6 Determination of characteristics.....	14
6.1 Determination of the magnetic polarization .....	14
6.2 Determination of the magnetic field strength .....	15
6.3 Determination of the specific total loss.....	15
6.4 Determination of the specific apparent power.....	16
7 Reproducibility.....	16
Annex A (informative) Requirements of the single sheet tester for Fe-based amorphous strip.....	17
A.1 Shape of test specimen.....	17
A.2 H coil method.....	17
A.3 Yoke .....	17
A.4 Wirings .....	17
A.5 Non-inductive precision resistor .....	18
A.6 Magnetic shielding .....	18
A.7 Method for checking the stability of the installed H coil from time to time .....	18
Annex B (informative) Digital sampling technique for the determination of the magnetic properties and numerical air flux compensation .....	19
B.1 General.....	19
B.2 Technical details and requirements.....	19
B.3 Calibration aspects .....	22
B.4 Numerical air flux compensation .....	22
Annex C (informative) Sinusoidal waveform control of the magnetic polarization by digital means .....	24
Bibliography.....	26

Figure 1 – Schematic diagram of the test apparatus..... 8

Figure 2 – Circuit of the wattmeter method with H coil mode ..... 9

Figure 3 – Yoke dimensions ..... 10

Figure 4 – Circuit of the wattmeter method with H coil mode adopting the digital  
sampling technique ..... 12

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MAGNETIC MATERIALS –****Part 16: Methods of measurement of the magnetic properties of  
Fe-based amorphous strip by means of a single sheet tester**

## 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.

International Standard IEC 60404-16 has been prepared by IEC technical committee 68: Magnetic alloys and steels.

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

CDV	Report on voting
68/570/CDV	68/583A/RVC

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

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 this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

The contents of the corrigendum of Novembre 2018 have been included in this copy.

## INTRODUCTION

A method of measuring the magnetic properties of Fe-based amorphous strip is required to grade what is regarded as a promising material to reduce energy loss in transformer cores and, consequently, to reduce global warming.

Fe-based amorphous strip is produced by a rapidly-solidifying, direct-casting process. The strip is intended primarily for the construction of wound cores of distribution transformers for commercial power frequency (50 Hz and 60 Hz) applications.

After appropriate heat treatment, the strip exhibits a significantly lower value of specific total loss compared to grain-oriented electrical steel strip. It is associated with low hysteresis loss due to low magnetic anisotropy and low eddy current loss due to high resistivity and reduced thickness. However, significant deterioration can occur by applying stress on the strip due to the large magnetostriction and low magnetic anisotropy characteristics of the material.

Therefore, a method of measurement of the magnetic properties of Fe-based amorphous strip by means of a single sheet tester (SST) is required, independent of IEC 60404-3 [1]<sup>1</sup>, which is specified for electrical steel sheets.

The almost exclusively applied wattmeter method is used also in this standard. However, the widely used version with the determination of the magnetic field strength from the magnetizing current ("MC method") is not applicable to this kind of material, because the influence of the yokes on the loss measurement is significantly greater for the thinner and magnetically softer test specimen of this material. Thus, the wattmeter method with H coil mode ("H coil method") has been included for the magnetic field determination. International round robin tests of SST and Fe-based amorphous test specimens have been carried out, resulting in a suitable configuration of the SST for amorphous material. The single-yoke concept was adopted in order to avoid the effect of the impact of the upper yoke caused by the high magneto-elastic sensitivity of the material.

---

<sup>1</sup> Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

## MAGNETIC MATERIALS –

### Part 16: Methods of measurement of the magnetic properties of Fe-based amorphous strip by means of a single sheet tester

#### 1 Scope

This part of IEC 60404 is applicable to Fe-based amorphous strips specified in IEC 60404-8-11 for the measurement of AC magnetic properties at frequencies up to 400 Hz.

The object of this part is to define the general principles and technical details of the measurement of the magnetic properties of Fe-based amorphous strips by means of a single sheet tester.

The single sheet tester is applicable to test specimens obtained from Fe-based amorphous strips of any quality. The AC magnetic characteristics are determined for a sinusoidal induced voltage, for specified peak values of magnetic polarization and for a specified frequency.

The measurements are made at an ambient temperature of  $(23 \pm 5)$  °C on test specimens which have first been demagnetized.

NOTE 1 The single sheet tester specified in this document is appropriate for other materials which have magnetic properties and physical characteristics similar to those of Fe-based amorphous strip, such as nano-crystalline soft magnetic strip. The single sheet tester for electrical steel sheets is specified in IEC 60404-3.

NOTE 2 Throughout this document the term “magnetic polarization” is used as described in IEC 60050-121. In some standards of the IEC 60404 series, the term “magnetic flux density” is used.

#### 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 60404-8-11, *Magnetic materials – Part 8-11: Specifications for individual materials – Fe-based amorphous strip delivered in the semi-processed state*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	30
INTRODUCTION.....	32
1 Domaine d'application .....	33
2 Références normatives .....	33
3 Termes et définitions .....	33
4 Principes généraux .....	34
4.1 Principe de la méthode .....	34
4.2 Eprouvette d'essai .....	35
4.3 Appareillage d'essai.....	36
4.3.1 Généralités .....	36
4.3.2 Culasse .....	36
4.3.3 Enroulements .....	36
4.3.4 Compensation du flux d'air .....	37
4.3.5 Blindage magnétique .....	37
4.4 Alimentation électrique.....	37
4.5 Instruments de mesure .....	38
4.6 Technique d'échantillonnage numérique .....	38
5 Procédure de mesure .....	40
5.1 Principe de mesure .....	40
5.2 Préparation de la mesure .....	40
5.3 Réglage de l'alimentation électrique.....	41
6 Détermination des caractéristiques .....	41
6.1 Détermination de la polarisation magnétique.....	41
6.2 Détermination du champ magnétique .....	42
6.3 Détermination des pertes totales massiques .....	42
6.4 Détermination de la puissance apparente massique.....	43
7 Reproductibilité .....	43
Annexe A (informative) Exigences relatives au dispositif d'essai sur tôle unique des bandes en alliage amorphe à base de fer.....	44
A.1 Forme de l'éprouvette d'essai .....	44
A.2 Méthode de la bobine de H .....	44
A.3 Culasse .....	44
A.4 Câblages .....	45
A.5 Résistance de précision non inductive .....	45
A.6 Blindage magnétique .....	45
A.7 Méthode de vérification périodique de la stabilité de la bobine de H installée.....	45
Annexe B (informative) Technique d'échantillonnage numérique pour la détermination des propriétés magnétiques et compensation numérique du flux d'air .....	46
B.1 Généralités .....	46
B.2 Détails techniques et exigences.....	46
B.3 Aspects liés à l'étalonnage.....	50
B.4 Compensation numérique du flux d'air .....	50
Annexe C (informative) Contrôle de la forme d'onde sinusoïdale de la polarisation magnétique par des moyens numériques .....	51
Bibliographie.....	53



Figure 1 – Schéma du dispositif d'essai .....	34
Figure 2 – Circuit de la méthode du wattmètre en mode bobine de H.....	35
Figure 3 – Dimensions de la culasse.....	36
Figure 4 – Circuit de la méthode du wattmètre en mode bobine de H exploitant la technique d'échantillonnage numérique .....	39

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

#### Partie 16: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des bandes en alliage amorphe à base de fer à l'aide de l'essai sur tôle unique

#### 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.

La Norme internationale IEC 60404-16 a été établie par le comité d'études 68 de l'IEC: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

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

CDV	Rapport de vote
68/570/CDV	68/583A/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette Norme internationale.

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 ce document 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 au document recherché. A cette date, le document sera

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

Le contenu du corrigendum de novembre 2018 a été pris en considération dans cet exemplaire.

## INTRODUCTION

Une méthode de mesure des propriétés magnétiques d'une bande en alliage amorphe à base de fer est exigée pour qualifier ce qui est considéré comme un matériau prometteur pour réduire les pertes énergétiques dans les noyaux de transformateur et, par conséquent, lutter contre le réchauffement climatique.

Le métal amorphe à base de fer est produit par un procédé de solidification rapide par coulée continue. La bande est destinée en premier lieu à la construction de noyaux enroulés de transformateurs de distribution pour les applications commerciales aux fréquences industrielles (50 Hz et 60 Hz).

Après un traitement thermique adéquat, la bande présente des pertes totales massiques relativement faibles par rapport à la tôle magnétique à grains orientés. Cela est lié aux faibles pertes par hystérésis dues à la faible anisotropie magnétique, ainsi qu'aux faibles pertes par courants de Foucault du fait d'une résistivité élevée et d'une faible épaisseur du matériau. Pourtant, une détérioration importante peut se produire en appliquant une contrainte sur la bande, en raison de la forte magnétostriction et des faibles caractéristiques d'anisotropie magnétique du matériau.

Par conséquent, une méthode de mesure des propriétés magnétiques de la bande en alliage amorphe à base de fer à l'aide de l'essai sur tôle unique (SST) est exigée, indépendamment de l'IEC 60404-3 [1]<sup>1</sup>, spécifiée pour les tôles magnétiques.

La présente norme fait également appel à la méthode du wattmètre qui est presque exclusivement utilisée pour ce type de mesure. Cependant, la version largement répandue consistant à déterminer le champ magnétique à partir du courant magnétisant ("méthode MC") n'est pas applicable à ce type de matériau, car l'influence des culasses sur la mesure des pertes est relativement supérieure pour l'éprouvette d'essai de ce matériau, qui est plus fine et magnétiquement plus douce. Ainsi, la méthode du wattmètre en mode bobine de H ("méthode de la bobine de H") a été incluse pour déterminer le champ magnétique. Des essais interlaboratoires internationaux de SST et d'éprouvettes d'essai en alliage amorphe à base de fer ont été réalisés, ce qui a donné une configuration convenable du SST pour matériau amorphe. Le concept de culasse simple a été adopté pour éviter l'effet de l'impact de la culasse supérieure, causé par la forte sensibilité magnéto-élastique du matériau.

---

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

## MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

### Partie 16: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des bandes en alliage amorphe à base de fer à l'aide de l'essai sur tôle unique

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60404 s'applique aux bandes en alliage amorphe à base de fer spécifiées dans l'IEC 60404-8-11 pour la mesure des propriétés magnétiques en courant alternatif, avec des fréquences allant jusqu'à 400 Hz.

L'objet de la présente partie est de définir les principes généraux et les détails techniques sur la mesure des propriétés magnétiques des bandes en alliage amorphe à base de fer à l'aide de l'essai sur tôle unique.

L'essai sur tôle unique s'applique aux éprouvettes d'essai prélevées à partir de bandes en alliage amorphe à base de fer de n'importe quelle qualité. Les caractéristiques magnétiques en courant alternatif sont déterminées pour une tension induite sinusoïdale, pour les valeurs de crête spécifiées de la polarisation magnétique et pour une fréquence spécifiée.

Les mesures sont réalisées à une température ambiante de  $(23 \pm 5)$  °C sur des éprouvettes d'essai qui ont été au préalable désaimantées.

NOTE 1 Le dispositif d'essai sur tôle unique spécifié dans le présent document convient pour d'autres matériaux qui possèdent des propriétés magnétiques et des caractéristiques physiques semblables à celles des bandes en alliage amorphe à base de fer, telles que les bandes en alliage magnétiquement doux nanocristallin. Le dispositif d'essai sur tôle unique pour les tôles magnétiques est spécifié dans l'IEC 60404-3.

NOTE 2 Dans l'ensemble du présent document, l'expression "polarisation magnétique" est utilisée conformément à la définition de l'IEC 60050-121. Certaines parties de la série IEC 60404 utilisent plutôt l'expression "induction magnétique".

#### 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 électrotechnique international – Chapitre 221: Matériaux et composants magnétiques*

IEC 60404-8-11, *Matériaux magnétiques – Partie 8-11: Spécifications pour matériaux particuliers – Bandes en alliage amorphe à base de fer, livrées à l'état semi-fini*