

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Magnetic materials –

Part 3: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel strip and sheet by means of a single sheet tester

Matériaux magnétiques –

Partie 3: Méthodes de mesure des caractéristiques magnétiques des bandes et tôles magnétiques en acier à l'aide de l'essai sur tôle unique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20; 29.030

ISBN 978-2-8322-5961-0

**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
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 General principles of AC measurements	7
4.1 General.....	7
4.2 Principle of the single sheet tester method.....	7
4.3 Test apparatus.....	7
4.3.1 Yokes	7
4.3.2 Windings	9
4.4 Air flux compensation.....	10
4.5 Test specimen	10
4.6 Power supply	11
5 Determination of the specific total loss	11
5.1 Principle of measurement.....	11
5.2 Apparatus	11
5.2.1 Voltage measurement.....	11
5.2.2 Frequency measurement	12
5.2.3 Power measurement.....	12
5.3 Measurement procedure of the specific total loss	12
5.3.1 Preparation of measurement.....	12
5.3.2 Adjustment of power supply	12
5.3.3 Measurements	13
5.3.4 Reproducibility of the measurement of the specific total loss	14
6 Determination of magnetic field strength, primary current and specific apparent power	14
6.1 General.....	14
6.2 Principle of measurement.....	14
6.2.1 Peak value of the magnetic polarization.....	14
6.2.2 RMS value of the primary current.....	14
6.2.3 Peak value of the magnetic field strength	15
6.3 Apparatus	15
6.3.1 Average type voltmeter	15
6.3.2 RMS current measurement	16
6.3.3 Peak current measurement.....	16
6.3.4 Power supply.....	16
6.3.5 Resistor R	16
6.4 Measuring procedure	16
6.4.1 Preparation for measurement	16
6.4.2 Measurement.....	16
6.4.3 Non-oriented material	17
6.5 Determination of characteristics.....	17
6.5.1 Determination of \hat{J}	17
6.5.2 Determination of \tilde{H}	17
6.5.3 Determination of \hat{H}	18

6.5.4	Determination of S_S	18
6.5.5	Reproducibility of the measurement of the specific apparent power	19
7	Test report.....	19
Annex A (normative)	Requirements concerning the manufacture of yokes.....	20
Annex B (informative)	Check and verification of reliable performance of the SST set-up by the use of reference samples and impact of the loss dissipated in the yokes	22
Annex C (informative)	Epstein to SST relationship for grain-oriented steel sheet	25
Annex D (informative)	Digital sampling methods for the determination of the magnetic properties and numerical air flux compensation	28
D.1	General.....	28
D.2	Technical details and requirements	28
D.3	Calibration aspects	30
D.4	Numerical air flux compensation	30
Bibliography	32
Figure 1	– Schematic diagrammes of the test apparatus	8
Figure 2	– Yoke dimensions	9
Figure 3	– Diagram of the connections of the five coils of the primary winding	9
Figure 4	– Circuit for the determination of the specific total loss.....	10
Figure 5	– Circuit for measuring the RMS value of the primary current.....	15
Figure 6	– Circuit for measuring the peak value of the magnetic field strength	15
Figure B.1	– Specific total loss vs. peak flux density (after J.Sievert [3] and G. Bertotti [4]); straight line: $P_S \propto B^{1.85}$ approximation (after C.Ragusa).	23
Figure C.1	– SST-Epstein relative difference δP for conventional grain-oriented material versus magnetic polarization \hat{J}	27
Figure C.2	– SST-Epstein relative difference δHS for conventional grain-oriented material versus magnetic polarization \hat{J}	27
Table B.1	– Loss dissipated by the yokes of a standard SST, determined from the loss curves measured on 3 yoke pairs as shown in Figure B.1, and relevant quantities including the relative yokes' contribution, p_Y ; exemplified using 5 standard grades.....	24
Table C.1	– SST-Epstein relative differences δP and δHS and the conversion factor F_C for conventional grain-oriented material in the polarization range 1,0 T to 1,8 T	26

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –**Part 3: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel strip and sheet 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.

IEC 60404-3 has been prepared by IEC technical committee 68: Magnetic alloys and steels. It is an International Standard.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 1992, Amendment 1:2002 and Amendment 2:2009. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) Annex A was revised. The method of determining the yokes' lamination resistance was added to Annex A;
- b) Annex B of the consolidated version of 2010 referred to calibration of the SST using the Epstein method. It was cancelled;
- c) Annex B (new), Annex C and Annex D were revised, they are for information only;
- d) Annex C was modified taking account of the new situation regarding P and R grades;
- e) Annex D was amended by addition of Clause D.4 on the numerical air flux compensation.

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

Draft	Report on voting
68/699/CDV	68/710/RVC

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

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

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

A list of all parts in the IEC 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 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.

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document 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 3: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel strip and sheet by means of a single sheet tester

1 Scope

This part of IEC 60404 is applicable to grain-oriented and non-oriented electrical steel strip and sheet for measurement of AC magnetic properties at power frequencies.

The object of this document is to define the general principles and the technical details of the measurement of the magnetic properties of electrical steel strip and sheet by means of a single sheet tester (SST).

The single sheet tester is applicable to test specimens obtained from electrical steel strips and sheets of any grade. The AC magnetic characteristics are determined for sinusoidal induced voltages, for specified peak values of the magnetic polarization, for specific peak values of the magnetic field strength and for a specified frequency.

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

NOTE Throughout this document, the quantity "magnetic polarization" is used as defined in IEC 60050-221. In some standards of the IEC 60404 series, the quantity "magnetic flux density" was used.

In order to support the long-term reliability of the performance of this set up and to understand better the relationship between the Epstein method and the SST method, the informative Annexes B and C, respectively, have been included.

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 – Part 221: Magnetic materials and components*

IEC 60404-13, *Magnetic materials – Part 13: Methods of measurement of resistivity, density and stacking factor of electrical steel strip and sheet*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	36
1 Domaine d'application	38
2 Références normatives	38
3 Termes et définitions	38
4 Principes généraux des mesurages en courant alternatif	39
4.1 Généralités	39
4.2 Principe de la méthode d'essai sur tôle unique.....	39
4.3 Appareillage d'essai.....	39
4.3.1 Culasses	39
4.3.2 Enroulements	41
4.4 Compensation du flux d'air.....	42
4.5 Eprouvette	42
4.6 Source d'alimentation	43
5 Détermination des pertes totales spécifiques	43
5.1 Principe de mesure	43
5.2 Appareillage.....	43
5.2.1 Mesurage de la tension	43
5.2.2 Mesurage de la fréquence	44
5.2.3 Mesurage de la puissance	44
5.3 Mode opératoire pour le mesurage des pertes totales spécifiques.....	44
5.3.1 Préparation du mesurage.....	44
5.3.2 Réglage de la source d'alimentation	44
5.3.3 Mesurages.....	45
5.3.4 Reproductibilité du mesurage des pertes totales spécifiques	46
6 Détermination de l'intensité du champ magnétique, du courant primaire et de la puissance apparente spécifique.....	46
6.1 Généralités	46
6.2 Principe de mesure	46
6.2.1 Valeur de crête de la polarisation magnétique	46
6.2.2 Valeur efficace du courant primaire	46
6.2.3 Valeur de crête de l'intensité du champ magnétique	47
6.3 Appareillage.....	47
6.3.1 Voltmètre de valeur moyenne	47
6.3.2 Mesurage du courant en valeur efficace	48
6.3.3 Mesurage du courant de crête	48
6.3.4 Source d'alimentation	48
6.3.5 Résistance R.....	48
6.4 Mode opératoire pour le mesurage.....	48
6.4.1 Préparation du mesurage.....	48
6.4.2 Mesurage	48
6.4.3 Matériaux à grains non orientés.....	49
6.5 Détermination des caractéristiques	49
6.5.1 Détermination de \hat{J}	49
6.5.2 Détermination de \tilde{H}	49
6.5.3 Détermination de \hat{H}	50

6.5.4	Détermination de S_S	50
6.5.5	Reproductibilité du mesurage de la puissance apparente spécifique	51
7	Rapport d'essai	51
Annexe A (normative) Exigences relatives à la construction des culasses.....		52
Annexe B (informative) Contrôle et vérification de la fiabilité des performances du dispositif SST par l'utilisation d'échantillons de référence et impact des pertes dissipées dans les culasses.....		54
Annexe C (informative) Relation Epstein-SST pour les tôles en acier à grains orientés.....		57
Annexe D (informative) Méthodes d'échantillonnage numérique pour la détermination des caractéristiques magnétiques et compensation numérique du flux d'air		60
D.1	Généralités	60
D.2	Détails techniques et exigences.....	60
D.3	Aspects liés à l'étalonnage.....	62
D.4	Compensation numérique du flux d'air	63
Bibliographie.....		64
Figure 1 – Schémas de l'appareillage d'essai.....		40
Figure 2 – Dimensions de la culasse.....		41
Figure 3 – Schéma de branchement des cinq bobines de l'enroulement primaire		41
Figure 4 – Circuit pour la détermination des pertes totales spécifiques		42
Figure 5 – Circuit pour le mesurage de la valeur efficace du courant primaire.....		47
Figure 6 – Circuit pour le mesurage de la valeur de crête de l'intensité du champ magnétique.....		47
Figure B.1 – Pertes totales spécifiques en fonction de l'induction de crête (d'après J.Sievert [3] et G. Bertotti [4]); droite: approximation $P_S \propto B^{1.85}$ (d'après C.Ragusa).....		55
Figure C.1 – Différence SST-Epstein relative δP pour un matériau conventionnel à grains orientés en fonction de la polarisation magnétique \hat{J}		59
Figure C.2 – Différence SST-Epstein relative δHS pour un matériau conventionnel à grains orientés en fonction de la polarisation magnétique \hat{J}		59
Tableau B.1 – Pertes dissipées par les culasses d'un SST normalisé, déterminées à partir des courbes de pertes mesurées sur 3 paires de culasses, comme cela est représenté à la Figure B.1, et grandeurs pertinentes, y compris la contribution relative des culasses, $p\gamma$; représentées par 5 qualités normalisées.....		56
Tableau C.1 – Différences SST-Epstein relatives δP et δHS et facteur de conversion F_C pour le matériau conventionnel à grains orientés dans la plage de polarisation 1,0 T à 1,8 T.....		58

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 3: Méthodes de mesure des caractéristiques magnétiques des bandes et tôles magnétiques en acier 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 brevet.

L'IEC 60404-3 a été établie par le comité d'études 68 de l'IEC: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette troisième édition annule et remplace la première édition parue en 1992, l'Amendement 1:2002 et l'Amendement 2:2009. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) l'Annexe A a été révisée. La méthode de détermination de la résistance des bandes des culasses a été ajoutée à l'Annexe A;
- b) l'Annexe B de l'édition consolidée de 2010 faisait référence à l'étalonnage du SST à l'aide de la méthode Epstein. Elle a été annulée;

- c) l'Annexe B (nouvelle), l'Annexe C et l'Annexe D ont été révisées et sont seulement informatives;
- d) l'Annexe C a été modifiée compte tenu de la nouvelle situation concernant les qualités P et R;
- e) l'Annexe D a été amendée par ajout de l'Article D.4 relatif à la compensation numérique du flux d'air.

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

Projet	Rapport de vote
68/699/CDV	68/710/RVC

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

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

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

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

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

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

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 3: Méthodes de mesure des caractéristiques magnétiques des bandes et tôles magnétiques en acier à l'aide de l'essai sur tôle unique

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60404 s'applique aux bandes et tôles magnétiques en acier à grains orientés et à grains non orientés pour le mesurage des caractéristiques magnétiques en courant alternatif aux fréquences industrielles.

Le présent document a pour objet de définir les principes généraux et les détails techniques pour le mesurage des caractéristiques magnétiques des bandes et tôles magnétiques en acier à l'aide de l'essai sur tôle unique (SST, *Single Sheet Tester*).

L'essai sur tôle unique s'applique aux éprouvettes prélevées à partir de bandes et de tôles magnétiques en acier de toute qualité. Les caractéristiques magnétiques en courant alternatif sont déterminées pour des tensions induites sinusoïdales, pour les valeurs de crête spécifiées de la polarisation magnétique, pour les valeurs de crête spécifiques de l'intensité du champ magnétique et pour une fréquence spécifiée.

Les mesurages sont effectués à la température ambiante de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sur des éprouvettes qui ont été au préalable désaimantées.

NOTE Dans le présent document, la grandeur "polarisation magnétique" est utilisée conformément à la définition de l'IEC 60050-221. Dans certaines normes de la série IEC 60404, la grandeur "induction magnétique" a été utilisée.

Afin de soutenir la fiabilité à long terme des performances de cette configuration et de mieux comprendre la relation entre la méthode Epstein et la méthode SST, les annexes informatives B et C, ont été respectivement, ajoutées.

2 Références normatives

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

IEC 60050-121, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 121: Electromagnétisme*

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

IEC 60404-13, *Matériaux magnétiques – Partie 13: Méthodes de mesure de la résistivité, de la masse volumique et du facteur de foisonnement des bandes et tôles en acier électrique*