

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Magnetic materials –

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

Matériaux magnétiques –

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



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2002 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Magnetic materials –

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

Matériaux magnétiques –

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1 Objet et domaine d'application	6
2 Références normatives	8
3 Principes généraux	8
3.1 Principe de la méthode d'essai	8
3.2 Appareillage d'essai	8
3.3 Inductance mutuelle de compensation	10
3.4 Eprouvette	12
3.5 Source d'alimentation	12
4 Détermination des pertes totales spécifiques	12
4.1 Principe de la mesure	12
4.2 Appareillage	12
4.3 Mode opératoire	14
5 Détermination de l'intensité du champ magnétique, du courant magnétisant et de la puissance apparente spécifique	18
5.1 Principe de la mesure	20
5.2 Appareillage	20
5.3 Mode opératoire	22
5.4 Détermination des caractéristiques	24
5.5 Reproductibilité	28
Annexe A (normative) Exigences concernant la construction des culasses	34
Annexe B (informative) Etalonnage du dispositif d'essai par rapport au cadre Epstein	36
Annexe C (informative) Relation Epstein-SST pour les tôles d'acier à grains orientés	38
Bibliographie	44
Figure 1 – Schéma du dispositif d'essai	30
Figure 2 – Dimensions de la culasse	30
Figure 3 – Schéma de branchement des cinq bobines de l'enroulement primaire	30
Figure 4 – Circuit pour la mesure des pertes totales spécifiques	32
Figure 5 – Circuit pour la mesure de la valeur efficace du courant magnétisant	32
Figure 6 – Circuit pour la mesure de la valeur de crête de l'intensité du champ magnétique	32
Figure C.1 – Facteur δP de conversion Epstein-SST pour matériau à grains orientés en fonction de la polarisation magnétique J	42
Figure C.2 – Facteur δHS de conversion Epstein-SST pour matériau à grains orientés en fonction de la polarisation magnétique J	42
Tableau C.1 – Facteurs δP et δHS de conversion Epstein-SST pour matériau à grains orientés dans la gamme de polarisation 1,0 T à 1,8 T	40

CONTENTS

FOREWORD	5
1 Object and field of application	7
2 Normative references	9
3 General principles	9
3.1 Principle of the method	9
3.2 Test apparatus	9
3.3 Air flux compensation	11
3.4 Test specimen	13
3.5 Power supply	13
4 Determination of the specific total loss	13
4.1 Principle of measurement	13
4.2 Apparatus	13
4.3 Measuring procedure	15
5 Determination of magnetic field strength, excitation current and specific apparent power	19
5.1 Principle of measurement	21
5.2 Apparatus	21
5.3 Measuring procedure	23
5.4 Determination of characteristics	25
5.5 Reproducibility	29
Annex A (normative) Requirements concerning the manufacture of yokes	35
Annex B (informative) Calibration of the test apparatus with respect to the Epstein frame	37
Annex C (informative) Epstein to SST relationship for grain-oriented sheet steel	39
Bibliography	45
Figure 1 – Diagram of the test apparatus	31
Figure 2 – Yoke dimensions	31
Figure 3 – Diagram of the connections of the five coils of the primary winding	31
Figure 4 – Circuit for the determination of the specific total loss	33
Figure 5 – Circuit for measuring the r.m.s. value of the excitation current	33
Figure 6 – Circuit for measuring the peak value of the magnetic field strength	33
Figure C.1 – Epstein-SST conversion factor δP for grain-oriented material versus magnetic polarization J	43
Figure C.2 – Epstein-SST conversion factor δHS for grain-oriented material versus magnetic polarization J	43
Table C.1 – Epstein-SST conversion factors δP and δHS for grain-oriented material in the polarization range 1,0 T to 1,8 T	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

**Partie 3: Méthodes de mesure des caractéristiques magnétiques
des tôles et feuillets magnétiques à l'aide
de l'essai sur tôle unique**

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60404-3 a été établie par le comité d'études 68 de la CEI: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

La présente version consolidée de la CEI 60404-3 comprend la deuxième édition (1992) [documents 68(BC)68+75 et 68(BC)77+79] et son amendement 1 (2002) [documents 68/258/FDIS et 68/263/RVD].

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

Elle porte le numéro d'édition 2.1.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1.

L'annexe A fait partie intégrante de la présente norme.

L'annexe B et C sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement 1 ne sera pas modifié avant 2009. A cette date, la publication sera

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –**Part 3: Methods of measurement of the magnetic properties
of magnetic sheet and strip by means
of a single sheet tester**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

This consolidated version of IEC 60404-3 consists of the second edition (1992) [documents 68(CO)68+75 and 68(CO)77+79] and its amendment 1 (2002) [documents 68/258/FDIS and 68/263/RVD].

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience.

It bears the edition number 2.1.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1.

Annex A forms an integral part of this standard.

Annex B and C are for information only.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment 1 will remain unchanged until 2009. At this date, the publication will be

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

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

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

1 Objet et domaine d'application

La présente partie a pour objet de définir les principes généraux et les détails techniques de mesure des propriétés magnétiques des tôles magnétiques à l'aide de l'essai sur tôle unique.

La présente partie de la CEI 60404 est applicable, aux fréquences industrielles:

a) aux tôles et feuilards magnétiques à grains orientés:

pour la mesure entre 1,0 T et 1,8 T:

- des pertes totales spécifiques;
- de la puissance apparente spécifique;
- de la valeur efficace du champ magnétique;

pour la mesure, jusqu'à des valeurs de crête de champ magnétique de 1 000 A/m:

- de la valeur de crête de la polarisation magnétique;
- de la valeur de crête du champ magnétique.

b) aux tôles et feuilards magnétiques à grains non orientés:

pour la mesure entre 0,8 T et 1,5 T:

- des pertes totales spécifiques;
- de la puissance apparente spécifique;
- de la valeur efficace du courant d'excitation;

pour la mesure, jusqu'à des valeurs de crête de champ magnétique de 10 000 A/m:

- de la valeur de crête de la polarisation magnétique;
- de la valeur de crête du champ magnétique.

L'essai sur tôle unique est applicable à des échantillons prélevés dans les tôles et feuilards magnétiques de toute qualité. Les caractéristiques magnétiques sont déterminées pour une tension induite sinusoïdale, pour des valeurs de crête spécifiées de la polarisation magnétique et pour une fréquence spécifiée.

Les mesures sont effectuées à la température ambiante de $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ sur des éprouvettes qui ont été au préalable désaimantées.

NOTE Dans la présente partie, la grandeur «polarisation magnétique» est utilisée conformément à la définition figurant dans la CEI 60050(901). Dans certaines normes de la série CEI 60404, on a employé l'expression «induction magnétique».

MAGNETIC MATERIALS –

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

1 Object and field of application

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

This part of IEC 60404 is applicable at power frequencies to:

- a) grain oriented magnetic sheet and strip:
 - for the measurement between 1,0 T and 1,8 T of:
 - specific total loss;
 - specific apparent power;
 - r.m.s. value of the magnetic field strength;
 - for the measurement up to peak values of magnetic field strength of 1 000 A/m of:
 - peak value of the magnetic polarization;
 - peak value of the magnetic field strength;
- b) non-oriented magnetic sheet and strip:
 - for the measurement between 0,8 T and 1,5 T of:
 - specific total loss;
 - specific apparent power;
 - r.m.s. value of excitation current;
 - for the measurement up to peak values of magnetic field strength of 10 000 A/m of:
 - peak value of the magnetic polarization;
 - peak value of the magnetic field strength.

The single sheet tester is applicable to test specimens obtained from magnetic sheets and strips of any quality. The 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 $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ on test specimens which have first been demagnetized.

NOTE Throughout this part the quantity "magnetic polarization" is used as defined in IEC 60050(901). In some standards of the IEC 60404 series, the quantity "magnetic flux density" was used.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

CEI 60050(221):1990, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 221: Matériaux et composants magnétiques*

CEI 60404-2:1996, *Matériaux magnétiques – Partie 2: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des tôles et bandes magnétiques au moyen d'un cadre Epstein*

3 Principes généraux

3.1 Principe de la méthode d'essai

L'éprouvette, constituée par un échantillon de tôle magnétique, est introduite à l'intérieur de deux enroulements:

- un enroulement primaire extérieur (enroulement d'excitation);
- un enroulement secondaire intérieur (enroulement de tension).

La fermeture du flux est assurée par un circuit magnétique constitué de deux culasses identiques dont la section est très élevée par rapport à celle de l'éprouvette (voir figure 1).

Afin de minimiser les effets de pression sur l'éprouvette, la culasse supérieure doit être munie d'un système de suspension permettant de contrebalancer une partie de la masse de la culasse conformément à 3.2.1.

Des précautions doivent être prises pour s'assurer que les variations de température sont maintenues à un niveau inférieur à celui susceptible de produire des contraintes dans l'éprouvette par dilatation ou contraction thermique.

3.2 Appareillage d'essai

3.2.1 Culasses

Chaque culasse en forme de U est composée de tôles isolées en acier au silicium à grains orientés ou en alliage fer-nickel. Elle doit avoir une faible réluctance et des pertes totales spécifiques ne dépassant pas 1,0 W/kg à 1,5 T et à 50 Hz. Elle doit être fabriquée selon les exigences de l'annexe A.

Afin de réduire l'effet des courants de Foucault et d'obtenir une répartition plus homogène du flux à l'intérieur de la culasse, celle-ci doit être constituée par une paire de culasses en C ou un assemblage collé de bandes, auquel cas les coins doivent être à joints croisés (voir figure 1).

Les faces polaires de la culasse doivent avoir une largeur de $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

Les deux faces polaires de chaque culasse doivent être coplanaires à mieux que 0,5 mm près et l'entrefer entre les faces polaires opposées des culasses ne doit dépasser 0,005 mm en aucun point. En outre, les culasses doivent être rigides afin d'éviter toute contrainte mécanique appliquée à l'éprouvette.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application 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(221):1990, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 221: Magnetic materials and components*

IEC 60404-2:1996, *Magnetic materials – Part 2: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel sheet and strip by means of an Epstein frame*

3 General principles

3.1 Principle of the method

The test specimen comprises a sample of magnetic sheet and is placed inside two windings:

- an exterior primary winding (magnetizing winding);
- an interior secondary winding (voltage winding).

The flux closure is made by a magnetic circuit consisting of two identical yokes, the cross-section of which is very large compared with that of the test specimen (see figure 1).

To minimize the effects of pressure on the test specimen, the upper yoke shall be provided with a means of suspension which allows part of its weight to be counterbalanced in accordance with 3.2.1.

Care shall be taken to ensure that temperature changes are kept below a level likely to produce stress in the test specimen due to thermal expansion or contraction.

3.2 Test apparatus

3.2.1 Yokes

Each yoke is in the form of a U made up of insulated sheets of grain oriented silicon steel or nickel iron alloy. It shall have a low reluctance and a specific total loss not greater than 1,0 W/kg at 1,5 T and 50 Hz. It shall be manufactured in accordance with the requirements of annex A.

In order to reduce the effect of eddy currents and give a more homogeneous distribution of the flux over the inside of the yokes, the latter shall be made of a pair of C-cores or a glued stack of laminations in which case the corners shall have staggered butt joints (see figure 1).

The yoke shall have pole faces having a width of $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

The two pole faces of each yoke shall be coplanar to within 0,5 mm and the gap between the opposite pole faces of the yokes shall not exceed 0,005 mm at any point. Also, the yokes shall be rigid in order to avoid creating mechanical stresses in the test specimen.

La hauteur de chaque culasse doit être comprise entre 90 mm et 150 mm; chaque culasse doit avoir une largeur de 500^{+5}_{-5} mm et une longueur interne de 450 mm $\pm$ 1 mm (voir figure 2).

NOTE Il est reconnu que d'autres dimensions de culasse peuvent être utilisées à condition que la comparabilité des résultats puisse être démontrée.

Le dispositif doit comporter entre les branches verticales des culasses un support non magnétique, en matériau isolant, sur lequel on pose l'éprouvette. Ce support doit être centré et placé dans le même plan que les faces polaires, afin que l'éprouvette soit en contact direct avec les forces polaires sans entrefer.

La culasse supérieure doit être mobile pour permettre la mise en place de l'éprouvette. Après insertion, la culasse supérieure doit être réalignée avec précision avec la culasse inférieure. La suspension de la culasse supérieure doit permettre de contrebalancer une partie de son poids afin d'obtenir une force sur l'éprouvette comprise entre 100 N et 200 N.

NOTE La forme carrée de la culasse a été retenue afin de permettre l'utilisation d'une seule éprouvette dans le cas des tôles à grains non orientés. Par rotation de 90° de l'éprouvette, il est possible de déterminer les caractéristiques dans la direction de laminage et dans le sens perpendiculaire.

3.2.2 Enroulements

Les enroulements primaire et secondaire doivent avoir une longueur d'au moins 440 mm et être enroulés sur un support en matériau isolant, non magnétique, de forme parallélépipédique. Les dimensions du support doivent être les suivantes:

- longueur: 445 mm $\pm$ 2 mm;
- largeur interne: 510 mm $\pm$ 1 mm;
- hauteur interne: 5^{+0}_{-2} mm;
- hauteur: $\leq$ 15 mm.

L'enroulement primaire peut être constitué:

- soit de cinq bobines ou plus de mêmes dimensions et de même nombre de spires, réparties sur toute la longueur (voir figure 3) et reliées en parallèle. Par exemple, avec cinq bobines, chaque bobine peut comporter 400 spires de fil de cuivre de 1 mm de diamètre, bobinées en cinq couches;
- soit d'un enroulement unique continu et uniformément réparti sur toute la longueur. Par exemple, cet enroulement peut comporter 400 spires de fil de cuivre de 1 mm de diamètre, bobinées en une seule ou plusieurs couches.

Le nombre de spires de l'enroulement secondaire dépendra des caractéristiques des appareils de mesure.

3.3 Inductance mutuelle de compensation

L'effet de flux dans l'air doit être compensé. Cela peut être obtenu, par exemple, à l'aide d'une inductance mutuelle de compensation. L'enroulement primaire de l'inductance mutuelle est connecté en série avec l'enroulement primaire du dispositif d'essai, alors que l'enroulement secondaire de l'inductance mutuelle est connecté en opposition avec l'enroulement secondaire du dispositif d'essai.

La valeur de l'inductance mutuelle doit être réglée de façon que, en l'absence d'éprouvette dans le dispositif d'essai, lorsqu'on fait circuler un courant alternatif dans les enroulements primaires, la tension entre les extrémités non reliées entre elles des enroulements secondaires ne soit pas supérieure à 0,1 % de la tension qui apparaît aux extrémités de l'enroulement secondaire du dispositif seul.

The height of each yoke shall be between 90 mm and 150 mm. Each yoke shall have a width of 500^{+5}_{-5} mm and an inside length of $450 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ (see figure 2).

NOTE It is recognized that other yoke dimensions can be used provided that the comparability of the results can be demonstrated.

There shall be a non-conducting, non-magnetic support between the vertical limbs of the yokes on which the test specimen is placed. This support shall be centered and located in the same plane as the pole faces so that the test specimen is in direct contact with the pole faces without any gap.

The upper yoke shall be movable upwards to permit insertion of the test specimen. After insertion the upper yoke shall be realigned accurately with the bottom yoke. The suspension of the upper yoke shall allow part of its weight to be counterbalanced so as to give a force on the test specimen of between 100 N and 200 N.

NOTE The square shape of the yoke has been chosen in order to have only one test specimen for non-oriented material. By rotating the test specimen through 90° it is possible to determine the characteristics in the rolling direction and perpendicular to the rolling direction.

3.2.2 Windings

The primary and secondary windings shall be at least 440 mm in length and shall be wound on a non-conducting, non-magnetic, rectangular former. The dimensions of the former shall be as follows:

- length: $445 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$;
- internal width: $510 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$;
- internal height: 5^{+0}_{-2} mm ;
- height: $\leq 15 \text{ mm}$.

The primary winding can be made up of:

- either five or more coils having identical dimensions and the same number of turns connected in parallel and taking up the whole length (see figure 3). For example, with five coils, each coil can be made up of 400 turns of copper wire 1 mm in diameter, wound in five layers;
- or a single continuous and uniform winding taking up the whole length. For example this winding can be made up of 400 turns of copper wire 1 mm in diameter, wound in one or more layers.

The number of turns on the secondary winding will depend on the characteristics of the measuring instruments.

3.3 Air flux compensation

Compensation shall be made for the effect of air flux. This can be achieved, for example, by a mutual inductor. The primary winding of the mutual inductor is connected in series with the primary winding of the test apparatus, while the secondary winding of the mutual inductor is connected to the secondary winding of the test apparatus in series opposition.

The adjustment of the value of the mutual inductance shall be made so that, when passing an alternating current through the primary windings in the absence of the specimen in the apparatus, the voltage measured between the non-common terminals of the secondary windings shall be no more than 0,1 % of the voltage appearing across the secondary winding of the test apparatus alone.

Ainsi, la valeur moyenne de la tension redressée induite dans l'enroulement secondaire combiné est proportionnelle à la valeur de crête de la polarisation magnétique dans l'éprouvette.

3.4 Eprouvette

La longueur de l'éprouvette doit être d'au moins 500 mm. Bien que la partie de l'éprouvette située en dehors des faces polaires n'ait pas grande influence sur la mesure, cette partie ne doit pas être plus longue que ce qui est nécessaire pour faciliter les opérations de mise en place et d'enlèvement de l'éprouvette.

La largeur de l'éprouvette doit être aussi grande que possible et au maximum égale à la largeur de la culasse.

Pour obtenir la précision maximale, la largeur minimale ne doit pas être inférieure à 60 % de la largeur de la culasse.

Les éprouvettes doivent être découpées sans formation de bavures excessives ou de distorsions mécaniques. L'éprouvette doit être plane. Lors du découpage, la rive de la tôle mère est prise comme référence de la direction de laminage. On admettra les tolérances suivantes pour l'angle entre la direction de laminage et celle du découpage:

- ±1° pour les tôles à grains orientés;
- ±5° pour les tôles à grains non orientés.

Pour les tôles à grains non orientés, on doit préparer deux éprouvettes, l'une coupée parallèlement à la direction de laminage, l'autre perpendiculairement, sauf si l'éprouvette est carrée, auquel cas une seule éprouvette suffit.

3.5 Source d'alimentation

La source d'alimentation doit avoir une faible impédance interne et une stabilité élevée en tension et en fréquence. Pendant les mesures, la tension et la fréquence doivent être maintenues constantes à ±0,2 % près.

En outre, la forme de l'onde de la tension secondaire induite doit être maintenue aussi sinusoïdale que possible. Il est préférable de maintenir le facteur de forme de la tension secondaire égal à $1,111 \pm 1\%$. Cela peut être réalisé de diverses manières, par exemple à l'aide d'une amplification électronique asservie.

4 Détermination des pertes totales spécifiques

4.1 Principe de la mesure

Le dispositif d'essai avec l'éprouvette constitue un transformateur à vide dont les pertes totales spécifiques sont mesurées selon le circuit de principe de la figure 4.

4.2 Appareillage

4.2.1 Mesure de la tension

4.2.1.1 Voltmètre de valeur moyenne

La tension secondaire redressée du dispositif d'essai doit être mesurée avec un voltmètre de valeur moyenne. L'instrument préférable est un voltmètre numérique de ± 0,2 % de précision.

NOTE Des instruments de ce type sont généralement gradués en valeur redressée multipliée par 1,111.

Thus the average value of the rectified voltage induced in the combined secondary windings is proportional to the peak value of the magnetic polarization in the test specimen.

3.4 Test specimen

The length of the test specimen shall be not less than 500 mm. Although the part of the specimen situated outside the pole faces has no great influence on the measurement, this part shall not be longer than is necessary to facilitate insertion and removal of the test specimen.

The width of the test specimen shall be as large as possible and at its maximum equal to the width of the yokes.

For maximum accuracy, the minimum width shall be not less than 60 % of the width of the yokes.

The test specimen shall be cut without the formation of excessive burrs or mechanical distortion. The test specimen shall be plane. When a test specimen is cut, the edge of the parent strip is taken as the reference direction. The following tolerances are allowed for the angle between the direction of rolling and that of cutting:

- $\pm 1^\circ$ for grain oriented steel sheet;
- $\pm 5^\circ$ for non-oriented steel sheet.

For non-oriented steel sheet, two specimens shall be cut, one parallel to the direction of rolling and the other perpendicular unless the test specimen is square, in which case one test specimen only is necessary.

3.5 Power supply

The power supply shall be of low internal impedance and shall be highly stable in terms of voltage and frequency. During the measurement, the voltage and the frequency shall be maintained constant within $\pm 0,2$ %.

In addition, the waveform of the secondary induced voltage shall be maintained as sinusoidal as possible. It is preferable to maintain the form factor of the secondary voltage to within ± 1 % of 1,111. This can be achieved by various means, for example by using an electronic feedback amplifier.

4 Determination of the specific total loss

4.1 Principle of measurement

The single sheet tester with the test specimen represents an unloaded transformer the total loss of which is measured by the circuit shown in figure 4.

4.2 Apparatus

4.2.1 Voltage measurement

4.2.1.1 Average type voltmeter

The secondary rectified voltage of the test apparatus shall be measured by an average type voltmeter. The preferred instrument is a digital voltmeter having an accuracy of $\pm 0,2$ %.

NOTE Instruments of this type are usually graduated in average rectified value multiplied by 1,111.

La charge du circuit secondaire doit être aussi faible que possible. Par conséquent, il convient que la résistance interne du voltmètre de valeur moyenne soit au moins égale à 1 000 Ω/V .

4.2.1.2 Voltmètre de valeur efficace

On doit utiliser un voltmètre de valeur efficace. L'instrument préférable est un voltmètre numérique de $\pm 0,2$ % de précision.

4.2.2 Mesure de la fréquence

On doit utiliser un fréquencemètre de $\pm 0,1$ % de précision.

4.2.3 Mesure de la puissance

On doit mesurer la puissance avec un wattmètre d'une précision de $\pm 0,5$ % ou meilleure pour la valeur réelle du facteur de puissance et du facteur de crête.

La résistance du circuit de tension du wattmètre doit être d'au moins 100 Ω/V pour tous les calibres. Si nécessaire, retrancher des pertes indiquées les pertes supplémentaires introduites par le wattmètre.

La résistance du circuit de tension du wattmètre doit être au moins égale à 5 000 fois sa réactance, à moins que le wattmètre ne soit compensé pour celle-ci.

Si un appareillage destiné à la mesure du courant est inclus dans le circuit, il doit être court-circuité lors de l'ajustement de la tension secondaire ainsi que lors de la mesure des pertes.

4.3 Mode opératoire

4.3.1 Préparation de la mesure

La longueur de l'éprouvette doit être mesurée à $\pm 0,1$ % près et sa masse déterminée à $\pm 0,1$ %. L'éprouvette doit être ensuite mise en place et centrée sur les axes longitudinal et transversal de la bobine d'essai, et la culasse supérieure, partiellement contrebalancée, doit être abaissée.

Avant la mesure, l'éprouvette doit être désaimantée par une lente diminution d'un champ magnétique alternatif à partir d'une valeur nettement supérieure à celle devant être mesurée.

The load on the secondary circuit shall be as small as possible. Consequently, the internal resistance of the average type voltmeter should be at least 1 000 Ω/V .

4.2.1.2 R.M.S. voltmeter

A voltmeter responsive to r.m.s. values shall be used. The preferred instrument is a digital voltmeter having an accuracy of $\pm 0,2$ %.

4.2.2 Frequency measurement

A frequency meter having an accuracy of $\pm 0,1$ % shall be used.

4.2.3 Power measurement

The power shall be measured by a wattmeter having an accuracy of $\pm 0,5$ % or better at the actual power factor and crest factor.

The resistance of the voltage circuit of the wattmeter shall be at least 100 Ω/V for all ranges. If necessary, the losses in the secondary circuit shall be subtracted from the indicated loss value.

The ohmic resistance of the wattmeter voltage circuit shall be at least 5 000 times its reactance, unless the wattmeter is compensated for its reactance.

If a current-measuring device is included in the circuit, it shall be short-circuited when the secondary voltage is adjusted and the losses are measured.

4.3 Measuring procedure

4.3.1 Preparation of measurement

The length of the test specimen shall be measured with an accuracy of $\pm 0,1$ % and its mass determined within $\pm 0,1$ %. The test specimen shall be loaded and centred on the longitudinal and transverse axes of the test coil, and the partly counterbalanced upper yoke shall be lowered.

Before the measurement, the test specimen shall be demagnetized by slowly decreasing an alternating magnetic field starting from well above the value to be measured.

4.3.2 Réglage de la source

La source doit être réglée de telle manière que la valeur moyenne de la tension secondaire redressée soit:

$$\overline{U_2} = 4 f N_2 \frac{R_i}{R_i + R_t} A \hat{J} \quad (1)$$

où

$\overline{U_2}$ est la valeur moyenne de la tension secondaire redressée, en volts;

f est la fréquence, en hertz;

R_i est la résistance équivalente des appareils dans le circuit secondaire, en ohms;

R_t est la somme des résistances des enroulements secondaires du dispositif d'essai et de l'inductance mutuelle, en ohms;

N_2 est le nombre de spires de l'enroulement secondaire;

A est la section de l'éprouvette, en mètre carrés;

$\hat{J}$ est la valeur de crête de la polarisation magnétique, en tesla.

La section A est donnée par l'équation:

$$A = \frac{m}{l \rho_m} \quad (2)$$

où

m est la masse de l'éprouvette, en kilogrammes;

l est la longueur de l'éprouvette, en mètres;

ρ_m est la masse volumique du matériau en essai, en kilogrammes par mètre cube.

4.3.3 Mesures

4.3.3.1 L'ampèremètre, s'il y en a un dans le circuit primaire, doit être observé pour vérifier que le circuit courant du wattmètre n'est pas surchargé. Court-circuiter ensuite l'ampèremètre et régler à nouveau la tension secondaire.

4.3.2 Source setting

The source shall be adjusted so that the average value of the secondary rectified voltage is:

$$\overline{U_2} = 4 f N_2 \frac{R_i}{R_i + R_t} A \hat{J} \quad (1)$$

where

$\overline{U_2}$ is the average value of the secondary rectified voltage, in volts;

f is the frequency, in hertz;

R_i is the combined resistance of instruments in the secondary circuit, in ohms;

R_t is the series resistance of the secondary windings of the test apparatus and mutual inductor, in ohms;

N_2 is the number of turns of the secondary winding;

A is the cross-sectional area of the test specimen, in square metres;

$\hat{J}$ is the peak value of magnetic polarization, in tesla.

The cross-sectional area A is given by the equation:

$$A = \frac{m}{l \rho_m} \quad (2)$$

where

m is the mass of the test specimen, in kilograms;

l is the length of the test specimen, in metres;

ρ_m is the density of the test material, in kilograms per cubic metre.

4.3.3 Measurements

4.3.3.1 The ammeter, if any, in the primary circuit shall be observed to ensure that the current circuit of the wattmeter is not overloaded. The ammeter shall then be short-circuited and the secondary voltage readjusted.

Après contrôle de la forme d'onde du circuit secondaire, on doit procéder à la lecture du wattmètre. La valeur des pertes totales spécifiques doit être calculée d'après la formule:

$$P_s = \left[P \frac{N_1}{N_2} - \frac{(1,111 \overline{|U_2|})^2}{R_i} \right] \frac{l}{m l_m} \quad (3)$$

où

$\overline{|U_2|}$ est la valeur moyenne de la tension secondaire redressée, en volts;

P_s est les pertes totales spécifiques de l'éprouvette, en watts par kilogramme;

P est la puissance mesurée par le wattmètre, en watts;

m est la masse de l'éprouvette, en kilogramme;

l_m est la longueur effective du circuit magnétique, en mètres ($l_m = 0,45$ m);

l est la longueur de l'éprouvette, en mètres;

N_1 est le nombre de spires de l'enroulement primaire;

N_2 est le nombre de spires de l'enroulement secondaire;

R_i est la résistance des instruments dans le circuit secondaire, en ohms.

NOTE 1 Des études* ont montré que la longueur interne des culasses est une valeur moyenne appropriée de la longueur effective du circuit magnétique l_m pour différents matériaux et différentes valeurs de polarisation.

NOTE 2 Une procédure, établie de longue date dans quelques pays, consiste à étalonner le dispositif d'essais en déterminant la longueur effective du circuit magnétique à partir des mesures des pertes spécifiques réalisées au moyen d'un cadre Epstein. Les détails de cette procédure d'étalonnage sont décrits en annexe B. Cette procédure n'est autorisée que pour la caractérisation des tôles et feuillets magnétiques destinés à la consommation dans ces pays.

4.3.3.2 Dans le cas de matériaux non orientés, pour des valeurs des pertes totales spécifiques mentionnées dans les normes produits des matériaux magnétiques, la valeur des pertes spécifiques totales reportée doit être calculée comme la moyenne des deux mesures effectuées dans les directions parallèle et perpendiculaire à la direction de laminage. Pour d'autres applications, les valeurs des pertes totales spécifiques parallèle et perpendiculaire à la direction de laminage doivent être reportées séparément.

4.3.4 Reproductibilité

La reproductibilité de cette méthode en utilisant l'appareillage décrit ci-dessus est caractérisée par un écart type relatif de 1 % pour les tôles en acier à grains orientés et 2 % pour les tôles en acier à grains non orientés.

5 Détermination de l'intensité du champ magnétique, du courant magnétisant et de la puissance apparente spécifique

Cet article décrit les méthodes de mesure pour la détermination des caractéristiques suivantes:

- la valeur efficace de l'intensité du courant magnétisant $\tilde{I}_1$;
- la valeur de crête de l'intensité du champ magnétique $\hat{H}$
- la puissance apparente spécifique S_s .

* J. D. Sievert, Determination of AC Magnetic Power Loss of Electrical Steel Sheet: Present Status and Trends, IEEE Trans. Mag. Vol. 20, No. 5 (1984) 1702-1707.

After checking the waveform of the secondary voltage, the wattmeter shall be read. The value of the specific total power loss shall then be calculated from the equation:

$$P_s = \left[P \frac{N_1}{N_2} - \frac{(1,111 \overline{U_2})^2}{R_i} \right] \frac{l}{m l_m} \quad (3)$$

where

$\overline{U_2}$ is the average value of the secondary rectified voltage, in volts;

P_s is the specific total power loss of the test specimen, in watts per kilogram;

P is the power measured by the wattmeter, in watts;

m is the mass of the test specimen, in kilograms;

l_m is the conventional magnetic path length, in metres ($l_m = 0,45$ m);

l is the length of the test specimen, in metres;

N_1 is the number of turns of the primary winding;

N_2 is the number of turns of the secondary winding;

R_i is the combined resistance of instruments in the secondary circuit, in ohms.

NOTE 1 Studies* have shown that the inside length of the yokes is an appropriate mean value for the effective magnetic path length l_m for different materials and polarization values.

NOTE 2 A long established practice in a few countries is to calibrate the test apparatus by determination of the effective magnetic path length based on specific total power loss measurements made in an Epstein frame. The details of the calibration procedure are described in annex B. This practice is permitted only for the evaluation of magnetic sheet and strip intended for consumption in those countries.

4.3.3.2 In the case of non-oriented material, for values of the specific total loss specified in the product standards for magnetic materials, the reported value of the specific total loss shall be calculated as the average of the two measurements made for the directions parallel and perpendicular to the direction of rolling. For other purposes the values of the specific total loss parallel and perpendicular to the direction of rolling shall be reported separately.

4.3.4 Reproducibility

The reproducibility of this method using the test apparatus defined above is characterized by a relative standard deviation of 1 % for grain oriented steel sheet and 2 % for non-oriented steel sheet.

5 Determination of magnetic field strength, excitation current and specific apparent power

This clause describes measuring methods for the determination of the following characteristics:

- r.m.s. value of the excitation current $\tilde{I}_1$;
- peak value of magnetic field strength $\hat{H}$
- specific apparent power S_s .

* J. D. Sievert, Determination of AC Magnetic Power Loss of Electrical Steel Sheet: Present Status and Trends, IEEE Trans. Mag. Vol. 20, No. 5 (1984) 1702-1707.

5.1 Principe de la mesure

5.1.1 Valeur de crête de la polarisation magnétique

La valeur de crête de la polarisation magnétique doit être déterminée à partir de la valeur moyenne de la tension secondaire redressée mesurée comme décrit en 4.2.1.

5.1.2 Valeur efficace du courant magnétisant

La valeur efficace de l'intensité du courant magnétisant doit être mesurée à l'aide d'un ampèremètre de valeur efficace placé dans le circuit comme indiqué à la figure 5.

5.1.3 Valeur de crête de l'intensité du champ magnétique

La valeur de crête de l'intensité du champ magnétique doit être obtenue à partir de la valeur de crête $\hat{I}$ du courant primaire. Celle-ci doit être déterminée en mesurant la tension aux bornes d'une résistance de précision R_n de valeur connue avec un voltmètre de crête comme indiqué à la figure 6.

5.2 Appareillage

5.2.1 Voltmètre de valeur moyenne

La tension secondaire redressée du dispositif d'essai doit être mesurée avec un voltmètre de valeur moyenne. De préférence, on utilisera un voltmètre numérique de précision égale à $\pm 0,2 \%$.

NOTE Des instruments de ce type sont généralement gradués en valeur redressée multipliée par 1,111.

La charge du circuit secondaire doit être aussi faible que possible. Par conséquent, il convient que la résistance interne du voltmètre de valeur moyenne soit au moins égale à 1 000 Ω/V .

5.2.2 Mesure du courant

La valeur efficace du courant primaire doit être mesurée soit au moyen d'un ampèremètre de valeur efficace de faible impédance de classe 0,5 ou meilleure (voir figure 5), ou en utilisant une résistance de précision et un voltmètre électronique de valeur efficace (voir figure 6).

5.2.3 Mesure du courant de crête

La mesure de la tension de crête aux bornes de la résistance R_n (voir figure 6) doit être exécutée soit au moyen d'un voltmètre électronique de haute sensibilité indiquant la valeur de crête, soit à l'aide d'un oscilloscope étalonné.

Pour la déviation maximale de ces instruments la mesure doit être faite avec une précision de $\pm 3 \%$, ou meilleure.

5.2.4 Source d'alimentation

La source d'alimentation doit être conforme aux exigences de 3.5.

5.1 Principle of measurement

5.1.1 Peak value of magnetic polarization

The peak value of magnetic polarization shall be derived from the average value of the rectified secondary voltage measured as described in 4.2.1.

5.1.2 R.M.S. value of the excitation current

The r.m.s. value of the excitation current shall be measured by an r.m.s. ammeter in the circuit shown in figure 5.

5.1.3 Peak value of the magnetic field strength

The peak value of the magnetic field strength shall be obtained from the peak value $\hat{I}$ of the primary current. This shall be determined by measuring the voltage drop across a known precision resistor R_n using a peak voltmeter as shown in figure 6.

5.2 Apparatus

5.2.1 Average type voltmeter

The secondary rectified voltage of the test apparatus shall be measured by an average type voltmeter. The preferred instrument is a digital voltmeter having an accuracy of $\pm 0,2$ %.

NOTE Instruments of this type are usually graduated in average rectified value multiplied by 1,111.

The load on the secondary circuit shall be as small as possible. Consequently, the internal resistance of the average type voltmeter should be at least 1 000 Ω/V .

5.2.2 Current measurement

The r.m.s. value of the primary current shall be measured either by means of an r.m.s. ammeter of low impedance of class 0,5 or better (see figure 5), or by using a precision resistor and r.m.s. electronic voltmeter (see figure 6).

5.2.3 Peak current measurement

The measurement of the peak voltage across resistor R_n (see figure 6) shall be achieved either by means of an electronic voltmeter of high sensitivity indicating the peak value, or by means of a calibrated oscilloscope.

The full scale error of the device used shall be ± 3 % or better.

5.2.4 Power supply

The power supply shall be in accordance with 3.5.

5.2.5 Résistance R_n

La méthode selon la figure 6 exige une résistance non inductive de précision de valeur connue à $\pm 0,5$ % près.

Le choix de la valeur de cette résistance dépend de la sensibilité du voltmètre de valeur de crête. Elle ne doit pas dépasser 1Ω afin de minimiser la distorsion de la forme d'onde de la tension induite.

5.3 Mode opératoire

5.3.1 Préparation de la mesure

La longueur de l'éprouvette doit être mesurée à $\pm 0,1$ % près et sa masse déterminée à $\pm 0,1$ %. L'éprouvette doit être ensuite mise en place et centrée sur les axes longitudinal et transversal de la bobine d'essai, et la culasse supérieure en partie contrebalancée doit être abaissée.

Avant la mesure, l'éprouvette doit être désaimantée par une lente diminution d'un champ magnétique alternatif à partir d'une valeur nettement supérieure à celle devant être mesurée.

5.3.2 Mesure

En pratique, on détermine soit des valeurs uniques, soit des groupes de valeurs de la polarisation magnétique $\hat{J}$ et de l'intensité du champ magnétique ($\hat{H}$ ou $\tilde{H}$).

Si l'intensité du champ magnétique est spécifiée et qu'on envisage de déterminer la polarisation magnétique, on doit régler le courant primaire à la valeur correspondant à l'intensité du champ magnétique spécifiée (voir ci-dessous). La tension secondaire du dispositif d'essai sur tôle unique doit être ensuite lue au voltmètre de valeur redressée (voir 4.3.2).

De même, si la polarisation magnétique est spécifiée et que l'intensité du champ magnétique est à déterminer, la tension secondaire doit être réglée à sa valeur spécifiée conformément à 4.3.2.

Pour la détermination de $\tilde{H}$, la valeur efficace du courant primaire doit être lue sur l'ampèremètre selon le circuit de la figure 5 ou sur un voltmètre selon le circuit de la figure 6.

Pour la détermination de $\hat{H}$, la valeur de crête de la tension aux bornes de la résistance R_n doit être lue sur un voltmètre de valeur de crête.

5.3.3 Matériaux non orientés

Dans le cas de matériaux non orientés, pour la valeur crête de la polarisation magnétique $\hat{J}$ spécifiée dans les normes produits des matériaux magnétiques, la valeur de $\hat{J}$ reportée doit être calculée comme la moyenne des deux mesures réalisées dans les directions parallèle et perpendiculaire à la direction de laminage. Pour les valeurs $\hat{J}$ la valeur efficace du courant d'excitation, les valeurs parallèle et perpendiculaire à la direction de laminage doivent être reportées séparément.

5.2.5 Resistor R_n

The method shown in figure 6 requires a precision non-inductive resistor of a value known to within $\pm 0,5\%$.

The resistance value to be chosen depends upon the sensitivity of the peak voltmeter. It shall not exceed $1\ \Omega$ in order to minimize the distortion of the induced voltage waveform.

5.3 Measuring procedure

5.3.1 Preparation for measurement

The length of the test specimen shall be measured with an accuracy of $\pm 0,1\%$ and its mass determined within $\pm 0,1\%$. The test specimen shall be loaded and centered on the longitudinal and transverse axes of the test coil, and the partly counterbalanced upper yoke shall be lowered.

Before the measurement, the test specimen shall be demagnetized by slowly decreasing an alternating magnetic field starting from well above the value to be measured.

5.3.2 Measurement

In practice, single values or groups of values of magnetic polarization $\hat{J}$ and magnetic field strength ($\hat{H}$ or $\tilde{H}$) are determined.

If the magnetic field strength is specified and the magnetic polarization is to be determined, the primary current shall be set to give the relevant magnetic field strength (see below). Then the secondary voltage of the single sheet tester shall be read on the average type voltmeter (see 4.3.2).

Again, if the magnetic polarization is specified and the magnetic field strength is to be determined, the secondary voltage shall be set to its specified value as described in 4.3.2.

For the determination of $\tilde{H}$, the r.m.s. value of the primary current shall be read on the ammeter according to the circuit of figure 5 or on the voltmeter according to the circuit of figure 6.

For the determination of $\hat{H}$, the peak value of the voltage drop across resistor R_n shall be read on the peak voltmeter.

5.3.3 Non-oriented material

In the case of non-oriented material, for the peak value of the magnetic polarization $\hat{J}$ specified in the product standards for magnetic materials, the reported value of $\hat{J}$ shall be calculated as the average of the two measurements made for the directions parallel and perpendicular to the direction of rolling. For values of $\hat{J}$ for other purposes and for the measurement of specific apparent power and the r.m.s. value of excitation current, the values parallel and perpendicular to the direction of rolling shall be reported separately.

5.4 Détermination des caractéristiques

5.4.1 Détermination de $\hat{J}$

La valeur de crête de la polarisation magnétique est donnée par l'équation:

$$\hat{J} = \frac{1}{4 f N_2 A} \overline{U_2} \quad (4)$$

Pour obtenir $\overline{U_2}$, la lecture du voltmètre doit être corrigée par le facteur:

$$\frac{R_v + R_2}{R_v}$$

où

$\hat{J}$ est la valeur de crête de la polarisation magnétique, en tesla;

f est la fréquence, en hertz;

N_2 est le nombre de spires de l'enroulement secondaire;

A est la section de l'éprouvette, en mètre carrés;

R_v est la résistance interne du voltmètre, en ohms;

R_2 est la résistance de l'enroulement secondaire, en ohms;

$\overline{U_2}$ est la valeur moyenne de la tension secondaire redressée, en volts.

5.4.2 Détermination de $\tilde{H}$

La valeur efficace de l'intensité du champ magnétique doit être calculée à partir de la valeur efficace du courant primaire, indiquée par l'ampèremètre selon le schéma de la figure 5 ou par le voltmètre selon le circuit de la figure 6:

$$\tilde{H} = \frac{N_1}{l_m} \tilde{I}_1; \quad (5)$$

où

$\tilde{H}$ est la valeur efficace de l'intensité du champ magnétique, en ampères par mètre;

N_1 est le nombre de spires de l'enroulement primaire;

l_m est la longueur conventionnelle effective du circuit magnétique en mètres ($l_m = 0,45$ m);

$\tilde{I}_1$ est la valeur efficace du courant primaire, en ampères.

Après détermination de plusieurs groupes de valeurs correspondantes de $\hat{J}$ et $\tilde{H}$, on peut tracer la courbe d'aimantation de $\hat{J}$ en fonction de $\tilde{H}$.

5.4 Determination of characteristics

5.4.1 Determination of $\hat{J}$

The peak value of the magnetic polarization is given by the equation:

$$\hat{J} = \frac{1}{4 f N_2 A} \overline{U_2} \quad (4)$$

To obtain $\overline{U_2}$, the voltmeter reading shall be corrected by the factor:

$$\frac{R_v + R_2}{R_v}$$

where

$\hat{J}$ is the peak value of the magnetic polarization, in tesla;

f is the frequency, in hertz;

N_2 is the number of turns of the secondary winding;

A is the cross-section of the test specimen, in square metres;

R_v is the voltmeter internal resistance, in ohms;

R_2 is the resistance of the secondary winding, in ohms;

$\overline{U_2}$ is the average value of the secondary rectified voltage, in volts.

5.4.2 Determination of $\tilde{H}$

The r.m.s. value of the magnetic field strength shall be calculated from the r.m.s. value of primary current indicated by the ammeter according to the circuit of figure 5 or by the voltmeter according to the circuit of figure 6:

$$\tilde{H} = \frac{N_1}{l_m} \tilde{I}_1; \quad (5)$$

where

$\tilde{H}$ is the r.m.s. value of the magnetic field strength, in amperes per metre;

N_1 is the number of turns of the primary winding;

l_m is the conventional effective magnetic path length, in metres ($l_m = 0,45$ m);

$\tilde{I}_1$ is the r.m.s. value of primary current, in amperes.

After several groups of corresponding values of $\hat{J}$ and $\tilde{H}$ have been determined, the magnetization curve of $\hat{J}$ against $\tilde{H}$ can be drawn.

5.4.3 Détermination de $\hat{H}$

La valeur de crête de l'intensité du champ magnétique doit être calculée à partir de l'indication $\hat{U}_m$ du voltmètre de valeur de crête:

$$\hat{H} = \frac{N_1}{R_n l_m} \hat{U}_m \quad (6)$$

où

$\hat{H}$ est la valeur de crête de l'intensité du champ magnétique, en ampères par mètre;

R_n est la valeur de la résistance de précision de la figure 6, en ohms;

$\hat{U}_m$ est la valeur de crête de la tension aux bornes de R_n , en volts.

NOTE La perméabilité d'amplitude est exprimée de la manière suivante:

$$\mu_a = \frac{\hat{J}}{\mu_0 \hat{H}} + 1$$

5.4.4 Détermination de S_s

La puissance apparente est donnée par:

$$S = \tilde{I}_1 \cdot \tilde{U}_2 \frac{N_1}{N_2} = \tilde{I}_1 \cdot 1,111 \cdot \overline{|U_2|} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (7)$$

où

S est la puissance apparente, en voltampères;

$\tilde{U}_2$ est la valeur efficace de la tension secondaire du dispositif d'essai sur tôle unique, en volts.

NOTE La relation $\tilde{U}_2 = 1,111 \overline{|U_2|}$ n'est valable que pour les tensions sinusoïdales.

En divisant cette quantité par la masse effective m_a calculée selon l'équation $m_a = \frac{l_m}{l} m$, on obtient la puissance apparente spécifique:

$$S_s = \frac{S}{m_a} = \frac{\tilde{I}_1 \cdot 1,111 \cdot \overline{|U_2|} l N_1}{m l_m N_2} \quad (8)$$

où

S_s est la puissance apparente spécifique, en voltampères par kilogramme;

l est la longueur de l'éprouvette, en mètres;

m est la masse de l'éprouvette, en kilogrammes;

$\overline{|U_2|}$ est la valeur moyenne de la tension secondaire redressée, en volts;

N_1 est le nombre de spires de l'enroulement primaire;

N_2 est le nombre de spires de l'enroulement secondaire;

l_m est la longueur conventionnelle effective du circuit magnétique en mètres ($l_m = 0,45$ m);

$\tilde{I}_1$ est la valeur efficace du courant primaire, en ampères.

5.4.3 Determination of $\hat{H}$

The peak value of the magnetic field strength shall be calculated from the reading $\hat{U}_m$ of the peak voltmeter:

$$\hat{H} = \frac{N_1}{R_n l_m} \hat{U}_m \quad (6)$$

where

$\hat{H}$ is the peak value of the magnetic field strength, in amperes per metre;

R_n is the resistance value of the precision resistor in figure 6, in ohms;

$\hat{U}_m$ is the peak voltage drop across R_n , in volts.

NOTE The amplitude permeability is expressed as:

$$\mu_a = \frac{\hat{J}}{\mu_0 \hat{H}} + 1$$

5.4.4 Determination of S_s

The apparent power is given by:

$$S = \tilde{I}_1 \cdot \tilde{U}_2 \frac{N_1}{N_2} = \tilde{I}_1 \cdot 1,111 \cdot \overline{U_2} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (7)$$

where

S is the apparent power, in voltamperes;

$\tilde{U}_2$ is the r.m.s. value of secondary voltage of the single sheet tester, in volts.

NOTE The relation $\tilde{U}_2 = 1,111 \overline{U_2}$ is valid only for sinusoidal voltage.

Division of this quantity by the effective mass $m_a = \frac{l_m}{l} m$ gives the specific apparent power:

$$S_s = \frac{S}{m_a} = \frac{\tilde{I}_1 \cdot 1,111 \cdot \overline{U_2} l N_1}{m l_m N_2} \quad (8)$$

where

S_s is the specific apparent power, in voltamperes per kilogram;

l is the length of the test specimen, in metres;

m is the mass of the test specimen, in kilograms;

$\overline{U_2}$ is the average value of the secondary rectified voltage, in volts;

N_1 is the number of turns of the primary winding;

N_2 is the number of turns of the secondary winding;

l_m is the conventional effective magnetic path length, in metres ($l_m = 0,45$ m);

$\tilde{I}_1$ is the r.m.s. value of primary current, in amperes.

5.5 Reproductibilité

La reproductibilité de cette méthode en utilisant l'appareillage défini ci-dessus est caractérisée par un écart type relatif de 3 % ou moins.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-3:1992+AMD1:2002 CSV

5.5 Reproducibility

The reproducibility of this method using the test apparatus defined above is characterized by a relative standard deviation of 3 % or less.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-3:1992+AMD1:2002 CSV

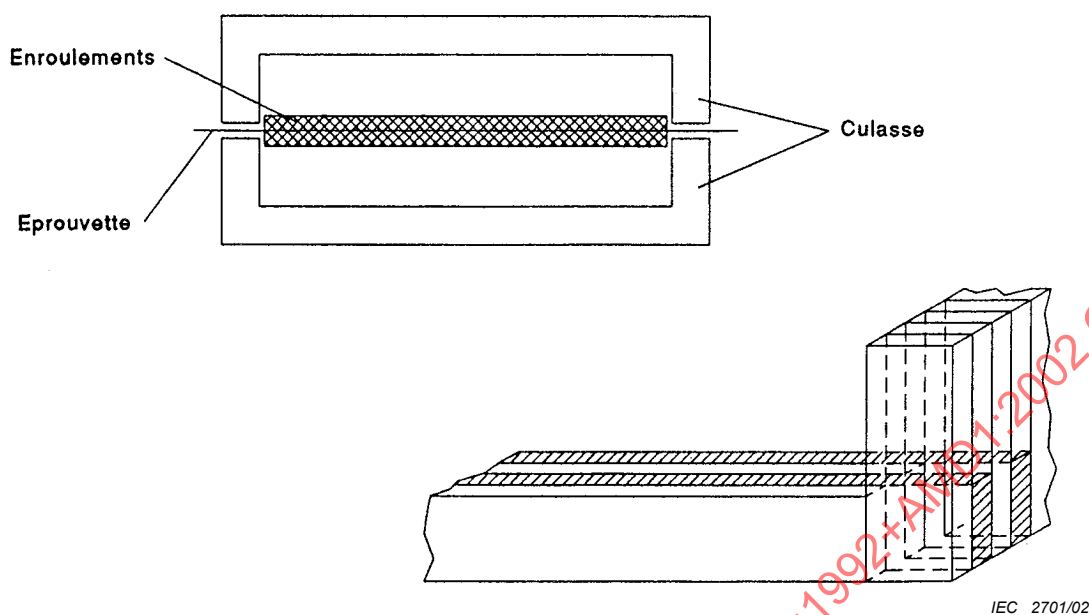


Figure 1 – Schéma du dispositif d'essai

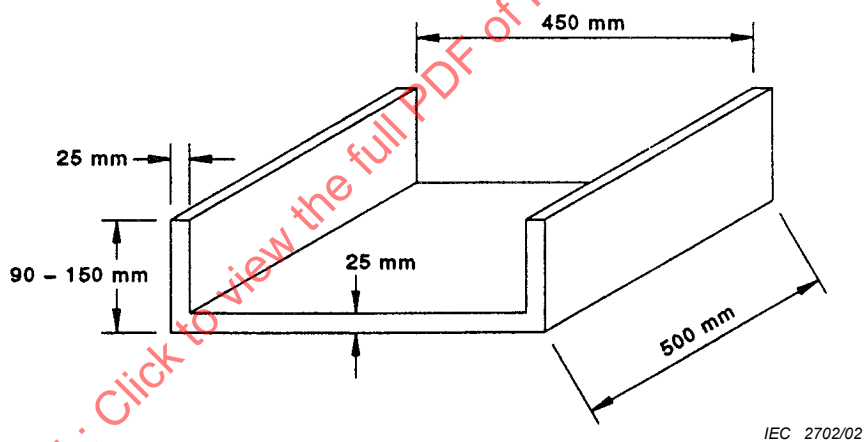


Figure 2 – Dimensions de la culasse

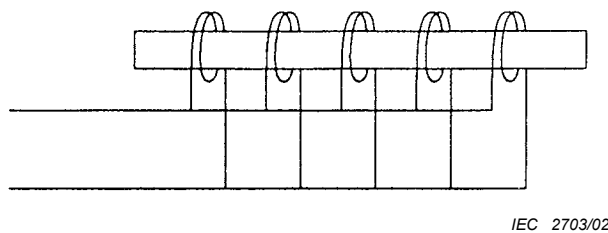


Figure 3 – Schéma de branchement des cinq bobines de l'enroulement primaire

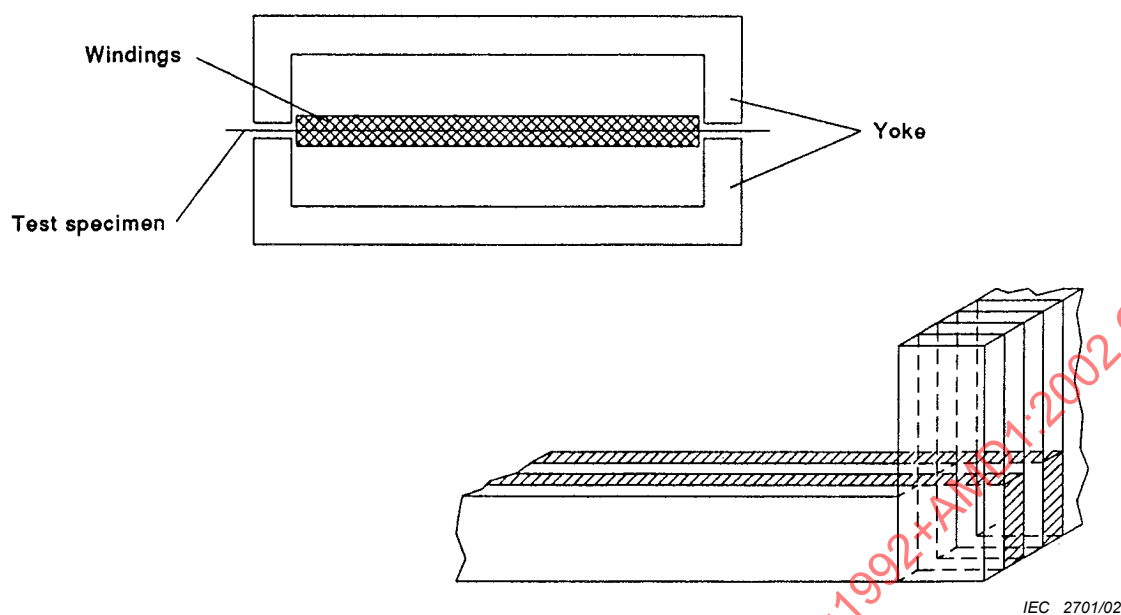


Figure 1 – Diagram of the test apparatus

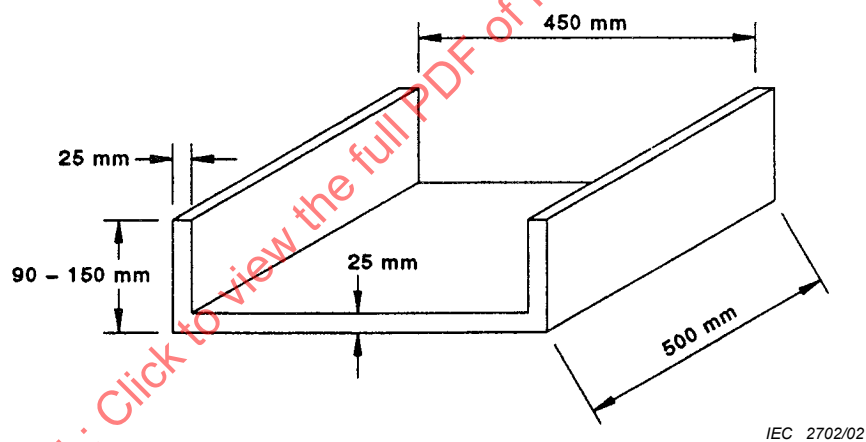


Figure 2 – Yoke dimensions

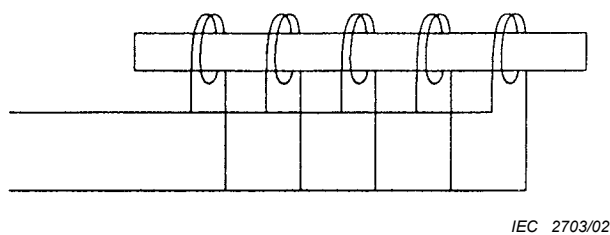
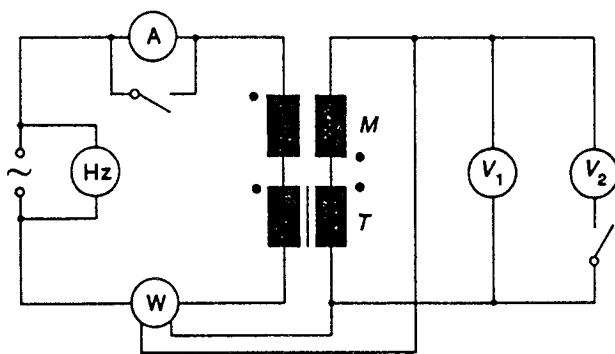


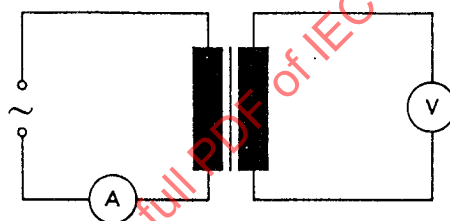
Figure 3 – Diagram of the connections of the five coils of the primary winding



IEC 2704/02

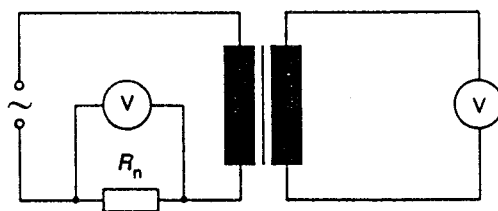
- V_1 mesure la tension moyenne redressée
 V_2 mesure la tension efficace
 M est l'inductance mutuelle
 T est le cadre d'essai

Figure 4 – Circuit pour la mesure des pertes totales spécifiques



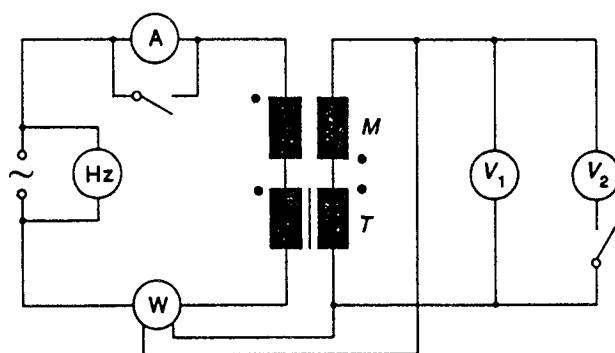
IEC 2705/02

Figure 5 – Circuit pour la mesure de la valeur efficace du courant magnétisant



IEC 2706/02

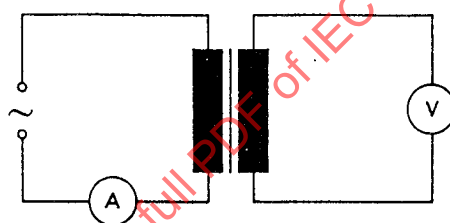
Figure 6 – Circuit pour la mesure de la valeur de crête de l'intensité du champ magnétique



IEC 2704/02

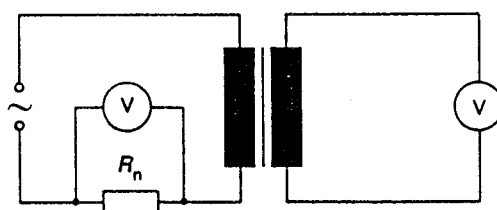
- V_1 measures average rectified voltage
 V_2 measures r.m.s. voltage
 M is the mutual inductor
 T is the test frame

Figure 4 – Circuit for the determination of the specific total loss



IEC 2705/02

Figure 5 – Circuit for measuring the r.m.s. value of the excitation current



IEC 2706/02

Figure 6 – Circuit for measuring the peak value of the magnetic field strength

Annexe A (normative)

Exigences concernant la construction des culasses

Il est important de s'assurer que les pertes dans les culasses sont faibles et constantes. Un niveau de pertes de 1 mW/kg mesuré à 50 Hz pour une intensité d'induction magnétique de 40 mT est caractéristique. L'une des raisons pour laquelle les pertes peuvent devenir élevées est l'existence de courts-circuits entre les tôles de la culasse. Pour la mesure des pertes dans les culasses, on peut utiliser un enroulement primaire et un enroulement secondaire sur les culasses; 25 tours suffisent pour chaque enroulement.

Il est nécessaire de vérifier la résistance d'isolement entre différentes parties de la culasse en utilisant un ohmmètre et des sondes.

Pendant la fabrication des culasses, un recuit de relaxation des bandes découpées est nécessaire. Après assemblage des bandes constituant les culasses (qui doit être réalisé sans application d'une pression élevée), les faces polaires doivent être usinées. Le parallélisme doit être démontré à l'aide d'une cale appropriée et l'uniformité de l'entrefer peut être vérifié à l'aide d'un liquide révélateur de planéité. Des rodages successifs à l'aide de carborundum ou de pâte diamant seront probablement nécessaires jusqu'à ce qu'une répartition uniforme du liquide révélateur de planéité indique un entrefer suffisamment homogène. Le rodage peut être effectué en plaçant la culasse supérieure dans sa position normale d'utilisation sur la culasse inférieure et en la déplaçant d'un mouvement de va-et-vient de faible amplitude.

L'opération de rodage fait fluer le métal entre les bandes et occasionne des courts-circuits. Il est important d'enlever ce métal qui a flué par une attaque acide soignée à l'aide d'un acide non oxydant (par exemple de l'acide chlorhydrique). Cela consiste à frotter les faces polaires avec un chiffon imprégné d'acide jusqu'à disparition de la couche qui a flué. Il est important de laver soigneusement et de neutraliser l'acier.

Il est utile de mesurer les pertes dans la culasse avant et après le rodage et l'attaque afin de vérifier la réduction des pertes entraînée par ce traitement.

Une vérification finale de la résistance d'isolement doit être faite après l'attaque et le nettoyage des faces polaires.

Avant utilisation, une désaimantation soignée de la culasse doit être effectuée à partir d'une valeur d'induction nettement plus élevée que la plus grande induction existant en pratique dans la culasse.

Annex A

(normative)

Requirements concerning the manufacture of yokes

It is important to ensure that the loss in the yokes is low and constant. A loss of 1 mW/kg at a magnetic flux density of 40 mT is typical, measured at a frequency of 50 Hz. One of the ways in which losses can become high is due to short circuits between laminations in the yoke. For the measurement of the power loss in the yokes a primary and a secondary winding wound on the yokes may be used; 25 turns are sufficient for each of these windings.

It is necessary to test the interlaminar resistance between parts of the yoke by use of an ohmmeter and probes.

During the manufacture of the yokes, a stress relief annealing of the cut strips is required. After bonding the material to build the yokes (which shall be done without application of high pressure), the pole faces shall be machined. Parallelism shall be proven with an appropriate gauge, and the uniformity of the air gap checked using engineers blue. Further grinding in stages using carborundum and diamond paste will probably be necessary until a uniform distribution of the engineers blue indicates a sufficiently homogeneous air gap. The grinding can be carried out by putting the upper yoke in the normal position of use on top of the bottom yoke and moving it to and fro through a small distance.

The process of grinding causes the metal to flow between laminations and produces short circuits. It is important to remove this flowed metal by a careful acid etching process using a non-oxidizing acid (e.g. hydrochloric acid). This consists in rubbing the pole faces with an acid-soaked cloth until the flowed layer is removed. It is important to carefully wash and neutralize the steel.

It is helpful to measure the yoke losses before and after grinding and etching to verify that the loss has been reduced by this treatment.

A final check on interlaminar insulation shall be made after pole face etching and cleaning.

Before use, the yokes shall be carefully demagnetized from a magnetic flux density well above the highest magnetic flux density which would occur in the yokes during use

Annexe B (informative)

Etalonnage du dispositif d'essai par rapport au cadre Epstein

NOTE Cette annexe ne fait pas partie des exigences de la norme. Elle est rédigée pour information à l'intention de ceux qui voudraient obtenir la corrélation entre des mesures réalisées à l'aide de la présente méthode et celles réalisées au cadre Epstein (voir note 2, page 18).

L'étalonnage du dispositif d'essai consiste à déterminer la longueur effective de son circuit magnétique à partir de la mesure des pertes totales spécifiques au cadre Epstein.

Cette détermination de la longueur effective du circuit magnétique est faite pour chaque qualité de matériau, et chaque induction dont on veut déterminer les pertes totales spécifiques.

En premier lieu les pertes totales spécifiques sont mesurées à l'aide du cadre Epstein conformément à la CEI 60404-2 (sauf que, dans le cas des matériaux à grains non orientés, toutes les bandes placées dans le cadre Epstein doivent avoir la même orientation).

Ensuite, placer au moins 12 bandes déjà mesurées au cadre Epstein, côte à côte, dans le dispositif d'essai. Mesurer à nouveau les pertes avec le dispositif pour une induction égale à celle pour laquelle les pertes totales spécifiques ont été déterminées au cadre Epstein.

La longueur effective l_m du circuit magnétique est calculée d'après la formule:

$$l_m = \frac{P l}{m P_{sE}} \quad (\text{B.1})$$

où

P est la puissance mesurée par le wattmètre connecté avec le dispositif d'essai, en watts;

l est la longueur des bandes Epstein, en mètres;

m est la masse totale des bandes Epstein placées dans le dispositif d'essai, en kilogrammes;

P_{sE} est les pertes totales spécifiques déterminées au cadre Epstein, en watts par kilogramme.

NOTE Dans le cas de matériaux à grains non orientés, il y a deux longueurs effectives du circuit magnétique, une pour chaque direction de prélèvement.

Annex B (informative)

Calibration of the test apparatus with respect to the Epstein frame

NOTE This annex does not form part of the requirements of the standard. It is included for information for those who wish to obtain the correlation between measurements taken by this method and the Epstein frame method (see note 2, page 19).

The calibration of the test apparatus consists in the determination of the effective length of its magnetic circuit from the measurement of the specific total loss in the Epstein frame.

This determination of the effective length of the magnetic circuit is made for each grade of material and each magnetic flux density for which the specific total power losses are to be determined.

Firstly the specific total power losses are measured by means of an Epstein frame in accordance with IEC 60404-2 (except that, in the case of non-oriented material, all the strips loaded in the Epstein frame shall be of the same orientation).

Then, at least 12 strips which have already been measured in the Epstein frame shall be placed side by side in the test apparatus. The losses are measured again by the apparatus for a magnetic flux density identical to that used in the determination of the specific total power loss in the Epstein frame.

The effective length l_m of the magnetic circuit is then calculated in accordance with the equation:

$$l_m = \frac{Pl}{mP_{sE}} \quad (\text{B.1})$$

where

- P is the power measured by the wattmeter connected with the test apparatus, in watts;
- l is the length of the Epstein strips, in metres;
- m is the total mass of Epstein strips placed in the test apparatus, in kilograms;
- P_{sE} is the specific total power loss determined by the Epstein frame, in watts per kilogram.

NOTE In the case of non-oriented materials, there will be two effective path lengths: one for each direction of sampling.

Annexe C (informative)

Relation Epstein-SST pour les tôles d'acier à grains orientés

NOTE La présente annexe ne fait pas partie des prescriptions de la norme. Elle est incluse à titre d'information pour ceux qui souhaitent convertir les valeurs SST en valeurs Epstein et vice versa. Il existe deux différences significatives par rapport à la procédure de l'annexe B, comme suit:

- l'annexe B prescrit le mode opératoire d'étalonnage d'un SST au moyen de longues bandes Epstein. Elle donne une valeur exacte pour le facteur d'étalonnage Epstein-SST pour l'échantillon individuel considéré;
- en coupant les tôles en bandes, le mode opératoire de l'annexe B donne un facteur d'étalonnage Epstein-SST qui se rapporte à un échantillon de tôle détensionné qui est constitué à partir des bandes Epstein recuites. En utilisant ce mode opératoire d'étalonnage, les valeurs des pertes totales spécifiques déterminées sur les éprouvettes de tôles seront en meilleur accord avec celles déterminées en utilisant les éprouvettes Epstein correspondantes, si les éprouvettes de tôle sont détensionnées et s'écarteront plus des valeurs Epstein si les tôles ne sont pas détensionnées.

Par ailleurs, l'annexe C décrit la conversion de valeurs SST en valeurs Epstein et vice versa, de manière générale, c'est-à-dire dans le cas où seulement une des deux méthodes de mesure a été utilisée. L'annexe C se limite au matériau à grains orientés. Bien sûr, la validité générale des relations présentées est sujette à la plus grande incertitude de la conversion, parce que la dispersion statistique due aux contraintes internes, etc., de l'échantillon de tôle individuel est considérable. Elle s'élève à environ ± 2 % (pour tout l'intervalle de J) pour les pertes totales spécifiques, P , se situe environ entre ± 3 % (pour $J = 1,3$ T) et ± 10 % (pour 1,7 T) pour les intensités du champ magnétique, H , et environ entre ± 5 % (à 1,3 T) et ± 20 % (à 1,7 T) pour la puissance apparente spécifique, S [1] et [2]¹.

Les relations ont été établies sur la base de mesures Epstein et SST sur environ 750 échantillons des nuances à grains orientés les plus significatives, livrées par huit producteurs différents et prélevés au cours de séquences de production différentes. Pour plus de détails, voir [1] et [2]. Cette étude n'a pas porté sur des matériaux à domaine affiné. Toutefois, la décision d'appliquer l'annexe C aux matériaux à domaine affiné relève de l'utilisateur de la présente norme.

La relation entre les résultats Epstein et les résultats SST peut être décrite par un facteur δP (pour les pertes totales spécifiques, P) et δHS (pour l'intensité du champ magnétique, H et la puissance apparente spécifique, S). La conversion des résultats Epstein, $P_{s,EPs}$, H_{EPs} et $S_{s,EPs}$, en résultats SST, $P_{s,SST}$, H_{SST} et $S_{s,SST}$, peut être opérée comme suit:

$$P_{s,SST} = P_{s,EPs} \times (1 + \delta P / 100) \quad (C.1a)$$

$$H_{SST} = H_{EPs} \times (1 + \delta HS / 100) \quad (C.1b)$$

$$S_{s,SST} = S_{s,EPs} \times (1 + \delta HS / 100) \quad (C.1c)$$

De manière correspondante, la conversion inverse peut être réalisée comme suit:

$$P_{s,EPs} = P_{s,SST} / (1 + \delta P / 100) \quad (C.2a)$$

$$H_{EPs} = H_{SST} / (1 + \delta HS / 100) \quad (C.2b)$$

$$S_{s,EPs} = S_{s,SST} / (1 + \delta HS / 100) \quad (C.2c)$$

¹ Les références entre crochets renvoient à la bibliographie.