

# 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**

<https://standards.iteh.ai/en/standards/iec/21058ede-ee83-4e63-bcac-09d2caec35c4/iec-60404-3-1992>



## 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](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [www.iec.ch](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](mailto: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](http://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](http://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](http://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](http://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](mailto: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**

<https://standards.iteh.ai/en/standards/iec/2/1058ede-ee83-4e63-bcae-09d2caec35c4/iec-60404-3-1992>

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 $\delta P$ de conversion Epstein-SST pour matériau à grains orientés en fonction de la polarisation magnétique $J$ .....	42
Figure C.2 – Facteur $\delta HS$ de conversion Epstein-SST pour matériau à grains orientés en fonction de la polarisation magnétique $J$ .....	42
Tableau C.1 – Facteurs $\delta P$ et $\delta HS$ 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 $\delta P$ for grain-oriented material versus magnetic polarization $J$ .....	43
Figure C.2 – Epstein-SST conversion factor $\delta HS$ for grain-oriented material versus magnetic polarization $J$ .....	43
Table C.1 – Epstein-SST conversion factors $\delta P$ and $\delta HS$ 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 feuillets 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 feuillets 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 feuillets 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 feuillets 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 mm ± 1 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 mm ± 1 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  $450 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  (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  $90^\circ$  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:  $445 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ ;
- largeur interne:  $510 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ ;
- hauteur interne:  $5^{+0}_{-2} \text{ mm}$ ;
- hauteur:  $\leq 15 \text{ mm}$ .

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  $90^\circ$  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:  $5^{+0}_{-2} \text{ mm}$ ;
- 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.