

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
404-3**

Deuxième édition
Second edition
1992-01

Matériaux magnétiques

Partie 3:

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

Magnetic materials

Part 3:

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 404-3: 1992

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
404-3**

Deuxième édition
Second edition
1992-01

Matériaux magnétiques

Partie 3:

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

Magnetic materials

Part 3:

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

© CEI 1992 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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 l'éditeur.

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 the publisher

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

Q

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
 Articles	
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	12
3.4 Eprouvette	12
3.5 Source d'alimentation	12
4 Détermination des pertes totales spécifiques	14
4.1 Principe de la mesure	14
4.2 Appareillage	14
4.3 Mode opératoire	16
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	26
Figures	28
 Annexes	
A – Exigences concernant la construction des culasses	32
B – Etalonnage du dispositif d'essai par rapport au cadre Epstein	34

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
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	13
3.4 Test specimen	13
3.5 Power supply	13
4 Determination of the specific total loss	15
4.1 Principle of measurement	15
4.2 Apparatus	15
4.3 Measuring procedure	17
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	27
Figures	28
Annexes	
A – Requirements concerning the manufacture of yokes	33
B – Calibration of the test apparatus with respect to the Epstein frame	35

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

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

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente partie de la Norme internationale CEI 404 a été établie par le Comité d'Etudes n° 68 de la CEI: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

Cette deuxième édition de la CEI 404-3 remplace la première édition parue en 1982.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote	Procédure des Deux Mois	Rapport de vote
68(BC)68	68(BC)75	68(BC)77	68(BC)79

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

L'annexe A fait partie intégrante de la présente partie de la CEI 404.

L'annexe B est donnée uniquement à titre d'information.

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 formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This part of International Standard IEC 404 has been prepared by IEC Technical Committee No. 68: Magnetic alloys and steels.

This second edition of IEC 404-3 replaces the first edition issued in 1982.

The text of this standard is based on the following documents:

DIS	Report on Voting	Two Months' Procedure	Report on Voting
68(CO)68	68(CO)75	68(CO)77	68(CO)79

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the Voting Reports indicated in the above table.

Annex A forms an integral part of this part of IEC 404.

Annex B is for information only.

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 404 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 50(901). Dans certaines normes de la série CEI 404, 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 404 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 50(901). In some standards of the IEC 404 series, the quantity "magnetic flux density" was used.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 404. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 404 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 50(901): 1973, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), chapitre 901: Magnétisme.*

CEI 404-2: 1978, *Matériaux magnétiques. Deuxième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques, électriques et physiques des tôles et feuillards magnétiques.*

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).

2 Normative references

The following standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 404. At the time of publication of this standard, the editions indicated were valid. All standards are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 404 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the standards indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 50(901): 1973, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 901: Magnetism*.

IEC 404-2: 1978, *Magnetic materials. Part 2: Methods of measurement of magnetic, electrical and physical properties of magnetic sheet and strip*.

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).

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 $0,5 \text{ mm}$ près et l'entrefer entre les faces polaires opposées des culasses ne doit dépasser $0,005 \text{ mm}$ en aucun point. En outre, les culasses doivent être rigides afin d'éviter toute contrainte mécanique appliquée à l'éprouvette.

La hauteur de chaque culasse doit être comprise entre 90 mm et 150 mm ; chaque culasse doit avoir une largeur de 500^{+5}_{-0} 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° 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} 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.

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.

The height of each yoke shall be between 90 mm and 150 mm. Each yoke shall have a width of 500^{+5}_{-0} 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 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.

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:

$\pm 1^\circ$ pour les tôles à grains orientés;

$\pm 5^\circ$ 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 $\pm 0,2$ % 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.

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.

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:

±1° for grain oriented steel sheet;

±5° 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 ±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 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 $\pm 0,2$ % de précision.

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 .

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 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.

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 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.

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 mètres 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 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 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:

$$P_s = \left[P \frac{N_1}{N_2} - \frac{(1,111 \overline{|U_2|})^2}{R_1} \right] \frac{l}{ml_m} \quad (3)$$

où

- $\overline{|U_2|}$ est la valeur moyenne de la tension secondaire redressée, en volts;
- P_s sont 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 kilogrammes;
- 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_1 est la résistance des instruments dans le circuit secondaire, en ohms.

NOTES

- 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.
- 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.

NOTES

- 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.
- 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 $1\,000\ \Omega/V$.

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 $\pm 3 \%$ 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 de $\hat{J}$ concernant d'autres applications et pour la mesure de la puissance apparente ainsi que de 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 1Ω 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 mètres 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:

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

où

$\hat{J}$ 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:

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

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.

5.5 Reproductibilité

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

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 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 Reproducibility

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

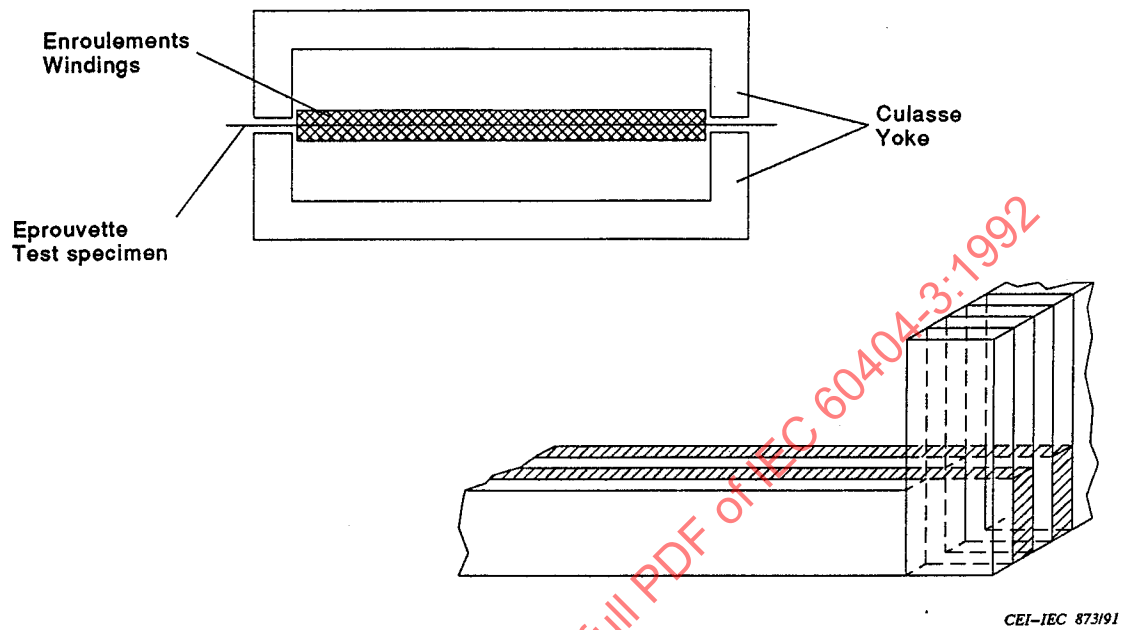


Figure 1 – Schéma du dispositif d'essai

Diagram of the test apparatus

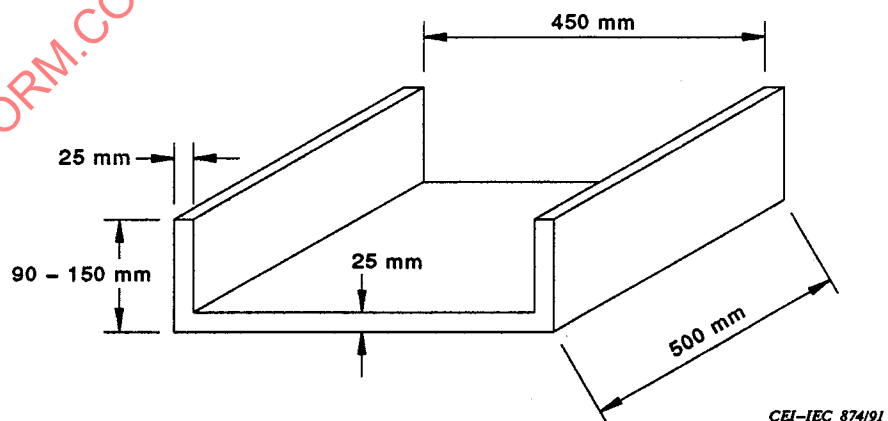
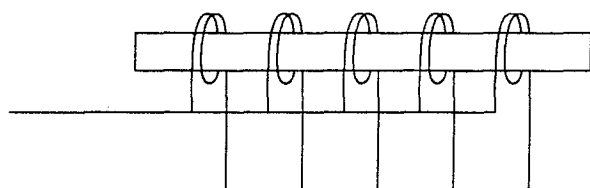


Figure 2 – Dimensions de la culasse

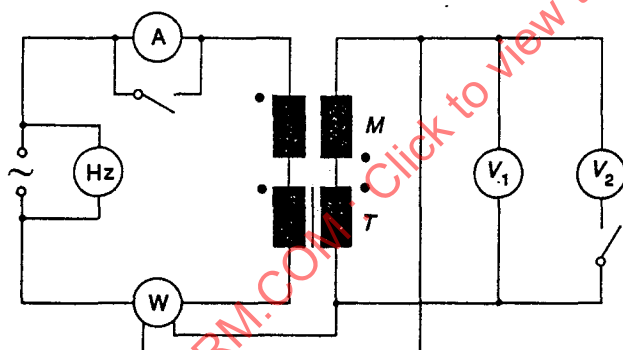
Yoke dimensions



CEI-IEC 875/91

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

Diagram of the connections of the five coils of the primary winding



V_1 mesure la tension moyenne redressée
measures average rectified voltage

V_2 mesure la tension efficace
measures r.m.s. voltage

M est l'inductance mutuelle
is the mutual inductor

T est le cadre d'essai
is the test frame

CEI-IEC 876/91

Figure 4 – Circuit pour la mesure des pertes totales spécifiques

Circuit for the determination of the specific total loss

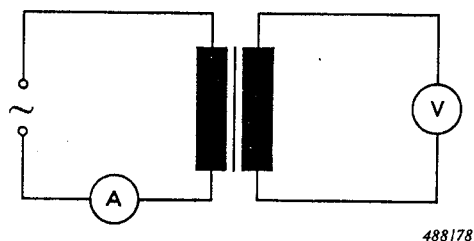


Figure 5 – Circuit pour la mesure de la valeur efficace du courant magnétisant

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

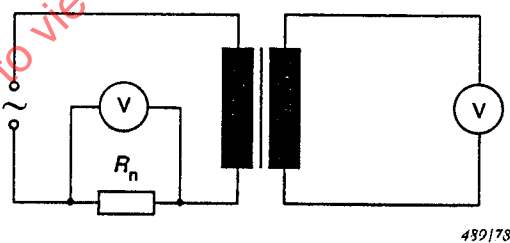


Figure 6 – Circuit pour la mesure de la valeur de crête de l'intensité du champ magnétique

Circuit for measuring the peak value of the magnetic field strength