

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 404-3

Première édition — First edition
1982

Matériaux magnétiques

Troisième partie: Méthodes de mesure des pertes totales spécifiques des tôles et feuillards magnétiques à l'aide de l'essai sur tôle unique

Magnetic materials

Part 3: Methods of measurement of specific total losses of magnetic sheet and strip by means of a single sheet tester



© CEI 1982

Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale
1, rue de Varembe
Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du V.E.I., soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

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

- la Publication 27 de CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 117 de la CEI: Symboles graphiques recommandés.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 117 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision 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 on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets 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

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the I.E.V. 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:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 117: Recommended graphical symbols.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 117, 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 inside of the back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 404-3

Première édition — First edition
1982

Matériaux magnétiques

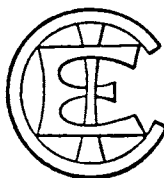
Troisième partie: Méthodes de mesure des pertes totales spécifiques des tôles et feuillets magnétiques à l'aide de l'essai sur tôle unique

Magnetic materials

Part 3: Methods of measurement of specific total losses of magnetic sheet and strip by means of a single sheet tester

Mots clés: matériaux magnétiques tendres; mesure; pertes dans le champ magnétique.

Key words: soft magnetic materials; measurement; losses in the magnetic field.



© CEI 1982

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

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4

INTRODUCTION

Articles

1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Définitions	6

CHAPITRE I: PRINCIPES GÉNÉRAUX

4. Principe de la méthode d'essai sur tôle unique	8
5. Dispositif d'essai	8
6. Source d'alimentation	10
7. Appareillage de mesure	12
8. Epreuve	14
9. Mode opératoire	14

CHAPITRE II: DISPOSITIF D'ESSAI RECOMMANDÉ

10. Forme et dimensions des culasses	20
11. Enroulements	20
12. Epreuve	22

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

INTRODUCTION

Clause

1. Scope	7
2. Object	7
3. Definitions	7

CHAPTER I: GENERAL PRINCIPLES

4. Principle of the single sheet tester	9
5. Test apparatus	9
6. Power supply	11
7. Apparatus	13
8. Test specimen	15
9. Measuring procedure	15

CHAPTER II: RECOMMENDED TEST APPARATUS

10. Shape and dimensions of yokes	21
11. Windings	21
12. Test specimen	23

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

**Troisième partie: Méthodes de mesure des pertes totales spécifiques des tôles et
feuillards magnétiques à l'aide de l'essai sur tôle unique**

PRÉAMBULE

- 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.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes N° 68 de la CEI: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Copenhague en 1979. A la suite de cette réunion, un projet, document 68(Bureau Central)23, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juin 1980.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')
Allemagne
Australie
Autriche
Belgique
Canada
Corée (République de)
Danemark
Egypte
Etats-Unis d'Amérique
Israël

Italie
Japon
Pologne
Roumanie
Royaume-Uni
Suède
Suisse
Tchécoslovaquie
Turquie
Union des Républiques
Socialistes Soviétiques

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

Publications n°s 50 (901) Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.)
Chapitre 901: Magnétisme.

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS

**Part 3: Methods of measurement of specific total losses 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.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 68: Magnetic Alloys and Steels.

A first draft was discussed at the meeting held in Copenhagen in 1979. As a result of this meeting, a draft, Document 68(Central Office)23, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in June 1980.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia
Austria
Belgium
Canada
Czechoslovakia
Denmark
Egypt
Germany
Israel
Italy
Japan

Korea (Republic of)
Poland
Romania
South Africa (Republic of)
Sweden
Switzerland
Turkey
Union of Soviet
Socialist Republics
United Kingdom
United States of America

Other IEC publications quoted in this standard:

- Publications Nos. 50 (901): International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.)
Chapter 901: Magnetism.
404-2: Magnetic Materials, Part 2: Methods of Measurement of Magnetic, Electrical and Physical Properties of Magnetic Sheet and Strip.

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

Troisième partie: Méthodes de mesure des pertes totales spécifiques des tôles et feuillets magnétiques à l'aide de l'essai sur tôle unique

INTRODUCTION

1. Domaine d'application

La présente norme est applicable aux tôles magnétiques à grains orientés pour des inductions comprises entre 1 et 1,8 T et aux tôles magnétiques à grains non orientés pour des inductions comprises entre 0,8 et 1,5 T, à des fréquences industrielles.

2. Objet

La présente norme a pour objet de définir les principes généraux de la méthode de mesure des pertes totales spécifiques des tôles et feuillets magnétiques à l'aide de l'essai sur tôle unique, ainsi que la description du dispositif d'essai recommandé. Cette méthode ne doit être considérée que comme une méthode complémentaire à celle du cadre Epstein de 25 cm, définie dans la Publication 404-2 de la CEI: Matériaux magnétiques, Deuxième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques, électriques et physiques des tôles et feuillets magnétiques, qui constitue la seule méthode de référence.

Les dispositifs employés doivent être conformes aux prescriptions du chapitre I.

Dans le cas où il est nécessaire de construire un dispositif d'essai, il est recommandé que celui-ci soit conforme aux descriptions données au chapitre II.

3. Définitions

Les définitions relatives aux différents termes employés dans cette norme sont données dans la Publication 50(901): Magnétisme, du Vocabulaire Electrotechnique International de la CEI.

MAGNETIC MATERIALS

Part 3: Methods of measurement of specific total losses of magnetic sheet and strip by means of a single sheet tester

INTRODUCTION

1. Scope

This standard is applicable to grain oriented magnetic sheet for magnetic flux densities between 1 and 1.8 T and to non-oriented magnetic sheet for magnetic flux densities between 0.8 and 1.5 T, at power frequencies.

2. Object

The object of this standard is to define the general principles of the method of measurement of specific total losses of magnetic sheets by means of a single sheet tester, also to describe a recommended apparatus. This method shall be considered only as a complementary method to the 25 cm Epstein frame method, described in IEC Publication 404-2: Magnetic Materials, Part 2: Methods of Measurement of Magnetic, Electrical and Physical Properties of Magnetic Sheet and Strip, which alone constitutes the reference method.

The apparatus to be used shall conform to the requirements of Chapter I.

When it is necessary to construct an apparatus it is recommended that this construction conform with the description given in Chapter II.

3. Definitions

The definitions relating to the various terms used in this standard are given in Publication 50(901): Magnetism, of the IEC International Electrotechnical Vocabulary.

CHAPITRE I: PRINCIPES GÉNÉRAUX

4. Principe de la méthode d'essai sur tôle unique

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

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

La fermeture du flux est faite 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, page 22).

Le système à deux culasses a été choisi principalement en raison du fait qu'il minimise l'influence des dimensions de l'éprouvette.

Des précautions doivent être prises pour s'assurer que des variations de température sont évitées, variations qui produiraient une contrainte dans l'éprouvette due à une dilatation ou contraction thermique.

La détermination des pertes totales spécifiques doit être faite par la méthode du wattmètre selon le schéma de principe donné à la figure 2, page 22, le dispositif étant étalonné à l'aide de bandes étalonnées préalablement au cadre Epstein de 25 cm.

5. Dispositif d'essai

5.1 Culasses

Chaque culasse en forme de U est composée de tôles au silicium ou d'alliage fer-nickel. Elle doit présenter une faible réluctance et de faibles pertes.

Les dimensions ainsi que les procédés de fabrication peuvent être variables, à condition que les culasses présentent les caractéristiques suivantes:

Elles doivent posséder des faces polaires suffisamment larges pour éviter des fuites de flux à l'interface avec l'éprouvette et pour permettre l'obtention d'un flux parallèle au plan de symétrie de l'éprouvette. Des faces polaires d'au moins 25 mm de largeur sont recommandées.

Les faces polaires doivent être planes, les culasses doivent également être rigides afin d'éviter de créer des contraintes mécaniques dans l'éprouvette.

En raison de l'étalonnage par rapport au cadre Epstein, la largeur de la culasse doit être d'au moins 360 mm de façon à pouvoir placer côte à côte 12 bandes Epstein. Afin de minimiser l'effet de la fuite du flux aux extrémités des bobines et des faces polaires, il est préférable que les culasses soient de longueur suffisante. La distance minimale entre les bords internes des faces polaires est de 220 mm.

5.2 Enroulements

Les enroulements primaires (aimantation) et secondaire (de tension) doivent être enroulés uniformément sur un support de matériau non magnétique et non conducteur, de section rectangulaire et de largeur suffisante pour pouvoir utiliser des éprouvettes de largeur égale à celle de la culasse. L'enroulement primaire doit être le plus long possible par rapport à la distance entre les faces polaires des culasses. L'enroulement secondaire doit être de même longueur que le primaire.

L'enroulement primaire devra être réalisé de façon à obtenir une induction magnétique uniforme, de préférence à $\pm 0,5\%$, sur toute la longueur de l'éprouvette. Ceci peut être obtenu par exemple par un enroulement composé de cinq bobines identiques alimentées en parallèle (voir figure 3, page 22).

Note. - Un enroulement primaire comportant une bobine unique, convenablement répartie permet également de remplir cette condition d'uniformité de l'induction magnétique.

5.3 Inductance mutuelle de compensation

L'effet du 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 doit pas être supérieure à 0,1% de la tension qui apparaît aux extrémités de l'enroulement secondaire du dispositif seul.

Ainsi la valeur redressée de la tension induite dans l'enroulement secondaire combiné est-elle proportionnelle à la valeur de crête de l'induction intrinsèque dans l'éprouvette.

6. Source d'alimentation

La source d'alimentation doit avoir une faible impédance interne et une bonne stabilité en tension et en fréquence. Pendant les mesures, la tension et la fréquence ne doivent pas s'écarter de leur valeur spécifiée de plus de 0,2% en plus ou en moins.

En outre la forme de l'onde de la tension secondaire induite doit être maintenue aussi sinusoïdale que possible. Le facteur de forme de la tension secondaire doit être égal à 1,111 à mieux que 1% près.

Cette condition peut être réalisée de diverses manières: par exemple à l'aide d'un amplificateur électronique asservi. S'il est impossible de réaliser cette condition, il est permis d'appliquer une correction pour le calcul des pertes, pourvu que le facteur de forme ne s'écarte pas de plus de 5% de sa valeur théorique en plus ou en moins. La formule de correction des pertes en watts est établie à partir de l'équation suivante:

$$P_t = P_h + P_p \left(\frac{F}{1,111} \right)^2 \quad (1)$$

où:

- P_t = pertes mesurées en watts par kilogramme
- P_h = pertes par hystérésis en watts par kilogramme
- P_p = pertes par courants de Foucault sinusoïdaux en watts par kilogramme
- F = facteur de forme mesuré

Les pertes corrigées peuvent être obtenues avec un maximum de précision avec la formule:

$$P_s = \frac{P_t}{P_h/P_s + (P_p/P_s) \left(\frac{\Delta F}{1,111} \right)^2} \quad (2)$$

CHAPTER I: GENERAL PRINCIPLES

4. Principle of the single sheet tester

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 comprised of two identical yokes whose cross-section is very large compared with that of the test specimen (see Figure 1, page 23).

The two-yoke system has been chosen chiefly because it minimizes the influence of the dimensions of the test specimen.

Care shall be taken to ensure that temperature changes are avoided which would produce stress in the test specimen due to thermal expansion or contraction.

The determination of the specific total losses shall be made by the wattmeter method using the circuit shown in Figure 2, page 23, which illustrates the principle, the apparatus being calibrated using strips previously calibrated in the 25 cm Epstein frame.

5. Test apparatus

5.1 Yokes

Each yoke in the form of a U is made up of sheets of silicon steel or nickel iron alloy. It shall have a low reluctance and low specific total loss.

The dimensions and the method of fabrication may be varied provided that the yokes conform to the following conditions:

They shall have pole faces sufficiently large to minimize flux leakage at the interface with the test specimen and to produce a flux parallel to the plane of the test specimen. Pole faces having a width of at least 25 mm are recommended.

The pole faces shall be parallel, the yokes shall also be rigid in order to avoid creating mechanical stresses in the test specimen.

Because the calibration is with respect to the Epstein frame, the width of the yoke shall be not less than 360 mm to allow 12 Epstein strips to be placed side by side. In order to minimize the effect of flux leakage at the ends of the windings and the pole faces, it is preferable that the yokes have a sufficient length. The minimum distance between the inside edges of the pole faces shall be 220 mm.

5.2 Windings

The primary (magnetizing) and secondary (voltage) windings shall be uniformly wound on a former of non-magnetic non-conducting material of rectangular cross-section and of sufficient width to permit the use of specimens having a width equal to that of the yoke. The primary winding shall be as long as possible in relation to the distance between the pole faces of the yokes. The secondary winding shall be the same length as the primary.

The primary winding shall be wound in such a way as to obtain a uniform magnetic flux density, preferably to within $\pm 0.5\%$, along the length of the test specimen. This can be obtained, for example, by a winding made up of five identical coils connected in parallel (see Figure 3, page 23).

Note. – A primary winding made up of a single coil suitably distributed allows this condition of uniformity of the magnetic flux density to be fulfilled.

5.3 Air flux compensation

Compensation shall be made for the effect of air flux. This may 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 intrinsic magnetic flux density in the test specimen.

6. 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 variation of voltage and the variation of frequency shall not exceed $\pm 0.2\%$ of the specified value.

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 within $\pm 1\%$ of 1.111.

This may be achieved by various means, e.g. by using electronic feedback amplifiers. If this condition cannot be maintained, it is permitted to make a correction to the loss measurement for deviation in form factor of up to a maximum of $\pm 5\%$. The formula for correcting watt loss is derived from the following equation:

$$P_t = P_h + P_p \left(\frac{F}{1.111} \right)^2 \quad (1)$$

where:

P_t = measured loss in watts per kilogram

P_h = apparent hysteresis loss in watts per kilogram

P_p = apparent eddy loss for sinusoidal flux conditions in watts per kilogram

F = measured form factor

The corrected loss may be obtained most precisely from the formula:

$$P_s = \frac{P_t}{P_h/P_s + (P_p/P_s) \left(\frac{\Delta F}{1.111} \right)^2} \quad (2)$$

mais une valeur suffisamment précise peut être obtenue avec la formule approximative:

$$P_s = P_t - 2 \left(\frac{P_p}{P_s} \right) \left(\frac{\Delta F}{1,111} \right) P_t \quad (3)$$

où:

P_s = pertes pour une induction sinusoïdale en watts par kilogrammes

P_t = pertes mesurées en watts par kilogramme

$\frac{P_h}{P_s}$ = proportion de pertes par hystérésis

$\frac{P_p}{P_s}$ = proportion de pertes par courants de Foucault

ΔF = variation du facteur de forme par rapport à 1,111

Les proportions de pertes par hystérésis et par courants de Foucault sont conventionnelles et sont habituellement déterminées pour chacune des épaisseurs et classes de produits par la mesure séparée des pertes pour deux facteurs de forme différents.

Le facteur de forme de la tension secondaire est le rapport de sa valeur efficace à sa valeur redressée. La première est mesurée avec un voltmètre de valeur efficace tel qu'un appareil ferromagnétique; la seconde avec un voltmètre de valeur moyenne tel qu'un appareil redresseur.

Note. - Si on utilise comme source d'alimentation un amplificateur asservi, il peut être nécessaire d'observer la forme d'onde de la tension secondaire induite au moyen d'un oscillographe afin de s'assurer que c'est bien la forme d'onde de la fréquence fondamentale qui est produite.

7. Appareillage de mesure

7.1 Mesure de la tension

7.1.1 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 $\pm 0,1\%$ de précision, des voltmètres analogiques de classe 0,5 sont également permis pour des mesures de moindre 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, la résistance interne du voltmètre de valeur moyenne sera au moins égale à 1000 Ω/V .

7.1.2 Voltmètre de valeur efficace

On doit utiliser un voltmètre de valeur efficace. L'instrument préférable est un voltmètre numérique de $\pm 0,1\%$ de précision, des voltmètres analogiques de classe 0,5 sont également permis pour des mesures de moindre précision.

7.2 Mesure du courant

On doit mesurer le courant primaire avec un ampèremètre de faible impédance de classe 1 ou meilleure. L'ampèremètre doit être court-circuité pour le réglage de la tension secondaire et la mesure des pertes.

7.3 Mesure de la fréquence

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

but a result of sufficient accuracy can be obtained from the approximate formula:

$$P_s = P_t - 2 \left(\frac{P_p}{P_s} \right) \left(\frac{\Delta F}{1.111} \right) P_t \quad (3)$$

where:

P_s = loss for sinusoidal flux conditions in watts per kilogram

P_t = measured loss in watts per kilogram

$\frac{P_h}{P_s}$ = proportion of hysteresis losses

$\frac{P_p}{P_s}$ = proportion of eddy losses

ΔF = change in form factor from 1.111

The proportions of hysteresis and eddy current losses are conventional and are commonly derived for the various thicknesses and classes of commercial materials by separate measurements of the losses at two different form factors.

The form factor of the secondary voltage is the ratio of the r.m.s. value to the average rectified value. The former is measured by an r.m.s. voltmeter, such as a moving iron instrument, and the latter by an average type voltmeter, such as a rectifier instrument.

Note. – When a negative feedback amplifier is used for the supply it may be necessary to observe the waveform of the secondary induced voltage on an oscilloscope to ensure that the fundamental frequency waveform is being produced.

7. Apparatus

7.1 Voltage measurement

7.1.1 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 of accuracy $\pm 0.1\%$, analogue voltmeters of class 0.5 are also permitted for measurement at reduced accuracy.

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 .

7.1.2 R.M.S. voltmeter

A voltmeter, responsive to r.m.s. values shall be used. The preferred instrument is a digital voltmeter of accuracy $\pm 0.1\%$, analogue voltmeters of class 0.5 are also permitted for measurement at reduced accuracy.

7.2 Current measurement

The primary current shall be measured by an ammeter of class 1 or better of low impedance. The ammeter should be short-circuited when the secondary voltage is adjusted and the losses are measured.

7.3 Frequency measurement

A frequency meter of accuracy $\pm 0.1\%$ shall be used.

7.4 Mesure de puissance

On doit mesurer la puissance avec un wattmètre très sensible de classe 0,5 ou meilleure ou un wattmètre électronique de précision comparable, adapté pour des mesures à faible facteur de puissance ($\cos \varphi = 0,1$ ou $0,2$). Il convient d'éviter autant que possible, les lectures dans le premier quart de l'échelle.

La résistance du circuit de tension du wattmètre sera d'au moins $100 \Omega/V$ 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 sera au moins égale à 5 000 fois sa réactance, à moins que le wattmètre ne soit compensé pour celle-ci.

8. Epreuve

L'éprouvette comprend un ou plusieurs échantillons de tôle dont les dimensions dépendent des dimensions du dispositif d'essai.

La longueur minimale de l'éprouvette ne doit pas être inférieure à la distance entre les bords externes des faces polaires. Bien que la partie de l'éprouvette située en dehors des faces polaires n'influe pas la mesure, cette partie ne doit pas être plus longue que ce qui est nécessaire pour les opérations de mise en place et d'enlèvement de l'éprouvette.

La largeur de l'éprouvette doit être la plus grande possible et au maximum égale à la largeur intérieure du support des enroulements.

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. 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.

9. Mode opératoire

9.1 Préparation de la mesure

On mesure la longueur de l'éprouvette à $\pm 0,1\%$ et sa masse à $\pm 0,1\%$ près. L'éprouvette est ensuite mise en place et centrée sur les axes longitudinal et transversal de la bobine d'essai.

Dans le cas des paramètres définis dans le domaine d'application de cette norme, il n'est généralement pas nécessaire de désaimanter l'éprouvette.

9.2 Réglage de la source

La source est réglée de manière que la tension secondaire redressée soit:

$$|\bar{U}_2| = 4 f N_2 \left(\frac{R_i}{R_i + R_t} \right) A \hat{B}_i \quad (4)$$

7.4 Power measurement

The power shall be measured by a highly sensitive wattmeter of class 0.5 or better or by an electronic wattmeter of comparable accuracy suitable for measurements at low power factor ($\cos \varphi = 0.1$ or 0.2). Readings in the first quarter of the scale should be avoided as far as possible.

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

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

8. Test specimen

The test specimen comprises one or more samples of sheet whose dimensions will depend on the dimensions of the test apparatus.

The minimum length of the test specimen shall not be less than the distance between the extreme edges of the pole faces. 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 necessary to facilitate inserting and removing the test specimen.

The width of the test specimen shall be as large as possible and at maximum equal to the internal width of the winding former.

For greatest accuracy the minimum width shall not be less than 60% of the width of the yoke.

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

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

In the case of 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.

9. Measuring procedure

9.1 Preparation of measurement

The length of the test specimen shall be measured with a tolerance 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.

Within the parameters defined in the scope of this standard, it is not generally necessary to demagnetize the test specimen.

9.2 Source setting

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

$$|\bar{U}_2| = 4fN_2 \left(\frac{R_i}{R_i + R_t} \right) A\hat{B}_i \quad (4)$$

où:

$|\bar{U}_2|$ = tension secondaire redressée en volts

f = fréquence en hertz

R_i = résistance combinée des voltmètres dans le circuit secondaire en ohms

R_1 = résistance des enroulements secondaires du dispositif d'essai en série avec l'inductance mutuelle en ohms

N_2 = nombre de spires de l'enroulement secondaire

A = aire de la section de l'éprouvette en mètres carrés

$\hat{B}_i$ = valeur de crête de l'induction intrinsèque en teslas

L'aire de la section A est donnée par l'équation:

$$A = \frac{m}{l\rho_m} \quad (5)$$

où:

m = masse de l'éprouvette en kilogrammes

l = longueur de l'éprouvette en mètres

ρ_m = masse volumique du matériau en kilogrammes par mètre cube

9.3 Mesure

- 9.3.1 Observer l'ampèremètre dans le circuit primaire pour vérifier que le circuit du courant du wattmètre n'est pas surchargé. Court-circuiter alors l'ampèremètre et régler à nouveau la tension secondaire.

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

$$P_s = \left[P \frac{N_1}{N_2} - \frac{(1,111|\bar{U}_2|)^2}{R_i} \right] \frac{l}{ml_m} \quad (6)$$

où:

P_s = pertes totales spécifiques de l'éprouvette en watts par kilogramme

P = puissance mesurée par le wattmètre en watts

m = masse de l'éprouvette en kilogrammes

l_m = longueur effective du circuit magnétique du dispositif en mètres (voir paragraphe 9.4)

l = longueur de l'éprouvette en mètres

N_1 = nombre de spires de l'enroulement primaire

N_2 = nombre de spires de l'enroulement secondaire

R_i = résistance combinée des instruments dans le circuit secondaire, en ohms

- 9.3.2 Pour les tôles magnétiques à grains non orientés, la valeur retenue est la moyenne des deux mesures faites pour les deux directions parallèle et perpendiculaire à la direction de laminage de l'éprouvette.

9.4 Etalonnage du dispositif d'essai

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

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

- 9.4.1 En premier lieu les pertes totales spécifiques doivent être mesurées à l'aide du cadre Epstein conformément à la Publication 404-2 de la CEI (à l'exclusion que, dans le cas des matériaux à grains non orientés, toutes les bandes placées dans le cadre Epstein doivent avoir la même orientation).

where:

$|\bar{U}_2|$ = secondary average rectified voltage, in volts

f = frequency, in hertz

R_i = combined resistance of instruments in the secondary circuit, in ohms

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

N_2 = number of turns of the secondary winding

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

$\hat{B}_i$ = peak value of intrinsic magnetic flux density, in teslas

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

$$A = \frac{m}{l \rho_m} \quad (5)$$

where:

m = mass of the test specimen, in kilograms

l = length of the test specimen, in metres

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

9.3 Measurements

- 9.3.1 The ammeter in the primary circuit shall be observed so that the current circuit of the wattmeter is not overloaded. Then the ammeter shall be short-circuited and the secondary voltage readjusted.

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 in accordance with the equation:

$$P_s = \left[P \frac{N_1}{N_2} - \frac{(1.111 |\bar{U}_2|)^2}{R_i} \right] \frac{l}{m l_m} \quad (6)$$

where:

P_s = specific total power loss of test specimen, in watts per kilogram

P = power measured by the wattmeter, in watts

m = mass of test specimen, in kilograms

l_m = effective length of magnetic circuit of apparatus, in metres (see Sub-clause 9.4)

l = length of test specimen, in metres

N_1 = number of turns of the primary winding

N_2 = number of turns of the secondary winding

R_i = combined resistance of instruments in the secondary circuit, in ohms

- 9.3.2 In the case of non-oriented magnetic sheets, the recorded value is the average of the two measurements made for the two directions parallel and perpendicular to the rolling direction of the test specimen.

9.4 Calibration of the test apparatus

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

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

- 9.4.1 Firstly the specific total power losses shall be measured by means of an Epstein frame in accordance with IEC Publication 404-2 (except, that in the case of non-oriented material, all the strips loaded in the Epstein frame shall be of the same orientation).

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

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

$$l_m = \frac{P l}{m P_{sE}} \quad (7)$$

où:

P = pertes mesurées avec le dispositif en watts

l = longueur des bandes Epstein en mètres

m = masse totale des bandes Epstein placées dans le dispositif, en kilogrammes

P_{sE} = pertes totales spécifiques déterminées au cadre Epstein en watts par kilogramme

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

9.5 Reproductibilité

Avec les meilleures pratiques dans l'instrumentation et les manipulations, la reproductibilité (accord entre différents laboratoires) espérée avec cette méthode est de l'ordre de $\pm 3\%$.

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

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

$$l_m = \frac{P l}{m P_{sE}} \quad (7)$$

where:

P = losses measured by the apparatus in watts

l = length of the Epstein strips in metres

m = total mass of Epstein strips placed in the apparatus in kilograms

P_{sE} = specific total power loss determined by the Epstein frame in watts per kilogram

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

9.5 Reproducibility

With the best practices in instrumentation and operation, the reproducibility (agreement between different laboratories) expected with this method is of the order of $\pm 3\%$.

CHAPITRE II: DISPOSITIF D'ESSAI RECOMMANDÉ

10. Forme et dimensions des culasses

Les deux culasses devront être en forme de U avec les dimensions suivantes: (voir figure 4, page 24).

- largeur: 500 mm,
- longueur: 500 mm,
- épaisseur des branches verticales: 25 mm,
- épaisseur de la base: 25 mm,
- hauteur de la culasse: 100 mm.

Les culasses doivent être composées de tôles au silicium ou d'alliage fer-nickel. Elles doivent présenter une faible réluctance et de faibles pertes.

Les culasses peuvent être obtenues:

- soit par empilement de bandes découpées,
- soit par enroulement de bande.

Dans les deux cas les contraintes introduites lors de l'assemblage des bandes obtenu par collage ou serrage mécanique doivent être négligeables.

Les faces polaires devront être planes afin d'assurer une assise correcte de l'éprouvette. Lors de la réalisation du dispositif on prendra soin de lui assurer une rigidité suffisante pour éviter de faire apparaître des contraintes mécaniques dans l'éprouvette.

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

Afin de faciliter cela, la culasse supérieure doit être mobile pour permettre la mise en place de l'éprouvette, et doit être ensuite réalignée avec précision avec la culasse inférieure.

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.

11. Enroulements

Les enroulements primaire et secondaire doivent avoir une longueur de 430 mm et être enroulés sur un support de matériau isolant, non magnétique, de forme parallélépipédique de 440 mm de long et de largeur intérieure de 510 mm et de hauteur intérieure ne dépassant pas 5 mm.

L'enroulement primaire peut être constitué:

- soit de cinq bobines de mêmes dimensions et de même nombre de tours, réparties sur toute la longueur (voir figure 3, page 22) et alimentées en parallèle. Par exemple chaque bobine peut comporter 400 tours de fil de cuivre de 1 mm de diamètre, bobinés en cinq couches.
- soit d'un enroulement unique continu et uniformément réparti sur toute la longueur. Par exemple cet enroulement peut comporter 400 tours de fil de cuivre de 1 mm de diamètre bobinés en une seule ou plusieurs couches.

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

Une inductance mutuelle pour la compensation du flux dans l'air doit être prévue.

CHAPTER II: RECOMMENDED TEST APPARATUS

10. Shape and dimensions of yokes

The two yokes shall be in the shape of a U with the following dimensions (see Figure 4, page 25):

- width: 500 mm,
- length: 500 mm,
- thickness of the vertical limbs: 25 mm,
- thickness of the base: 25 mm,
- height of the yoke: 100 mm.

The yokes shall be made up of sheets of silicon steel or nickel iron alloy. They shall have a low reluctance and low specific total power loss.

The yokes can be made:

- from a stack of punched laminations or
- from wound strip.

In the two cases, the stresses created by bonding or clamping of the laminations shall be negligible.

The pole faces shall be plane to ensure good contact with the test specimen. During the fabrication of the device care shall be taken to ensure its rigidity to avoid creating mechanical stresses in the specimen.

The device shall have a non-conducting, non-magnetic support between the vertical limbs of the yokes on which the test specimen will be placed. This support shall be centred 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.

To facilitate this, the top yoke shall be movable to permit insertion of the test specimen, and shall then be realigned accurately with the bottom yoke.

Note. - The square shape of the yoke has been chosen in order to have only one test specimen in the case of 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 director.

11. Windings

The primary and secondary windings shall be 430 mm in length and shall be wound on a non-conducting, non-magnetic rectangular former of length 440 mm and of internal width 510 mm and internal height not exceeding 5 mm.

The primary winding may be made up:

- either of five coils having identical dimensions and the same number of turns connected in parallel and taking up all the length (see Figure 3, page 23). For example each winding may be made up of 400 turns of copper wire of diameter 1 mm, wound in five layers.
- or a single continuous and uniform winding taking up all the length. For example this winding may be made up of 400 turns of copper wire diameter 1 mm wound in one or more layers.

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

A mutual inductor shall be provided for the air flux compensation.

12. Epreuve

Avec le type de culasse défini ci-dessus l'épreuve doit avoir une longueur minimale de 500 mm et une largeur comprise entre 300 mm et 500 mm.

L'épreuve doit être plane.

Note. - Il est judicieux de prévoir des largeurs normales en rapport avec les dimensions des produits.

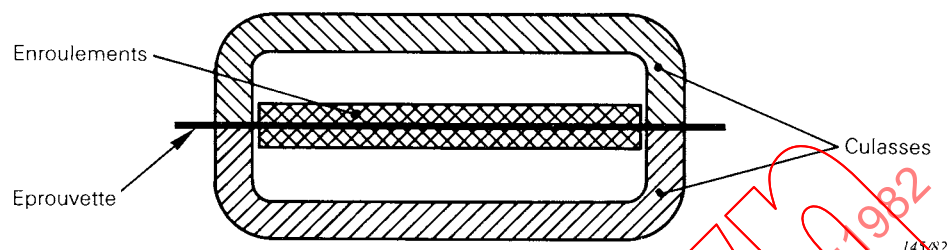


FIG. 1. - Schéma du dispositif d'essai à double culasse.

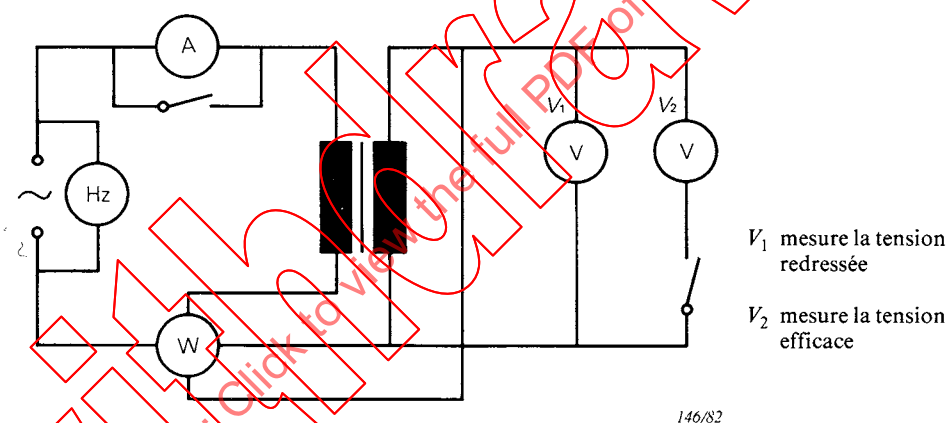


FIG. 2. - Circuit de principe de la méthode du wattmètre.

Note. - Pour des raisons de simplification on n'a pas représenté l'inductance mutuelle de compensation du flux dans l'air.

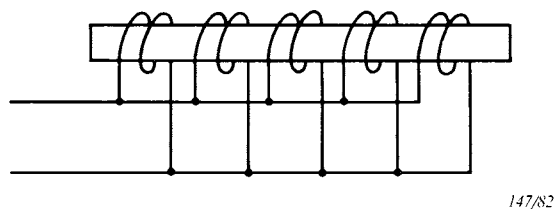


FIG. 3. - Schéma de branchement des cinq bobines de l'enroulement primaire.