

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

404-6

Première édition
First edition
1986-10

Matériaux magnétiques

Sixième partie:

Méthodes de mesure des propriétés magnétiques
des alliages magnétiques doux fer-nickel isotropes,
types E1, E3 et E4

Magnetic materials

Part 6:

Methods of measurement of the magnetic properties
of isotropic nickel-iron soft magnetic alloys,
types E1, E3 and E4



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 404-6: 1986

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (IEV).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

NORME INTERNATIONALE

CEI
IEC

INTERNATIONAL STANDARD

404-6

Première édition
First edition
1986-10

Matériaux magnétiques

Sixième partie:

Méthodes de mesure des propriétés magnétiques
des alliages magnétiques doux fer-nickel isotropes,
types E1, E3 et E4

Magnetic materials

Part 6:

Methods of measurement of the magnetic properties
of isotropic nickel-iron soft magnetic alloys,
types E1, E3 and E4

© IEC 1986 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 photo-
copie 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

R

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6
Articles	
1. Domaine d'application et objet	8
2. Reproductibilité	8
 CHAPITRE I: DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES MAGNÉTIQUES EN COURANT CONTINU	
SECTION UN — GÉNÉRALITÉS	
3. Objet	10
4. Domaine d'application	10
5. Epreuve	10
6. Enroulements	12
SECTION DEUX — MÉTHODES DE MESURE	
7. Intensité de champ magnétique	14
8. Induction magnétique	14
9. Connexion des appareils	14
10. Détermination de la courbe d'aimantation normale	16
11. Détermination d'un cycle d'hystérésis complet	16
12. Détermination de l'induction rémanente	20
13. Détermination du champ coercitif	20
 CHAPITRE II: DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES MAGNÉTIQUES EN COURANT ALTERNATIF	
SECTION UN — GÉNÉRALITÉS	
14. Objet	22
15. Domaine d'application	22
16. Epreuve	22
17. Enroulements	22
18. Forme de l'onde	22

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
Clause	
1. Scope and object	9
2. Reproducibility	9
 CHAPTER I: DETERMINATION OF THE MAGNETIC CHARACTERISTICS UNDER D.C. CONDITIONS	
SECTION ONE — GENERAL	
3. Object	11
4. Field of application	11
5. Test specimen	11
6. Windings	13
SECTION TWO — METHODS OF MEASUREMENT	
7. Magnetic field strength	15
8. Magnetic flux density	15
9. Connection of apparatus	15
10. Determination of normal magnetization curve	17
11. Determination of a complete hysteresis loop	17
12. Determination of remanent flux density	21
13. Determination of coercive field strength	21
 CHAPTER II: DETERMINATION OF THE MAGNETIC CHARACTERISTICS UNDER A.C. CONDITIONS	
SECTION ONE — GENERAL	
14. Object	23
15. Field of application	23
16. Test specimen	23
17. Windings	23
18. Waveform	23

SECTION DEUX — MÉTHODES DE MESURE —
COURBE D'AIMANTATION EN COURANT ALTERNATIF

19. Connexion des appareils	24
20. Intensité de champ magnétique	24
21. Induction magnétique	26
22. Perméabilité	26
23. Détermination de la courbe d'aimantation en courant alternatif	28

SECTION TROIS — MÉTHODES DE MESURE
DES PERTES TOTALES SPÉCIFIQUES

24. Méthode du wattmètre	28
------------------------------------	----

CHAPITRE III: PROCÈS-VERBAL D'ESSAI

ANNEXE A — Modes d'étalonnage de l'intégrateur de flux pour les essais en courant continu	34
ANNEXE B — Caractéristiques de la source de courant continu	38
FIGURES	40

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60404-6:1986

SECTION TWO — METHODS OF MEASUREMENT —
A.C. MAGNETIZATION CURVE

19. Connection of apparatus	25
20. Magnetic field strength	25
21. Magnetic flux density	27
22. Permeability	27
23. Determination of a.c. magnetization curve	29

SECTION THREE — METHOD OF MEASUREMENT
OF SPECIFIC TOTAL LOSSES

24. Wattmeter method	29
--------------------------------	----

CHAPTER III: TEST REPORT

APPENDIX A — Methods of calibrating the flux integrator for d.c. testing	35
APPENDIX B — Specification of direct current source	39
FIGURES	40

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

**Sixième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques
des alliages magnétiques doux fer-nickel isotropes, types E1, E3 et E4**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I 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 C E I exprime le vœu que tous les comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la C E I, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la C E I 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 C E I: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
68(BC)39	68(BC)48

Pour de plus amples renseignements, consulter le rapport de vote mentionné dans le tableau ci-dessus.

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

- Publications n°s 404-1 (1979): Matériaux magnétiques, Première partie: Classification.
404-8-6 (1986): Huitième partie, Section six — Matériaux métalliques magnétiquement doux.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS

**Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties
of isotropic nickel-iron soft magnetic alloys, types E1, E3 and E4**

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.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
68(CO)39	68(CO)48

Further information can be found in the Report on Voting indicated in the table above.

The following IEC publications are quoted in this standard:

Publications Nos. 404-1 (1979): Magnetic Materials, Part 1: Classification.
404-8-6 (1986): Part 8, Section Six - Soft Magnetic Metallic Materials.

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

Sixième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des alliages magnétiques doux fer-nickel isotropes, types E1, E3 et E4

1. Domaine d'application et objet

La présente norme spécifie les méthodes de mesure des propriétés magnétiques des alliages magnétiques doux fer-nickel isotropes, types E1, E3 et E4 tels que définis dans la Publication 404-1 de la CEI: Matériaux magnétiques, Première partie: Classification, par la méthode du tore.

La détermination des caractéristiques magnétiques en courant continu est donnée dans le chapitre I et la détermination des caractéristiques magnétiques en courant alternatif est donnée dans le chapitre II.

2. Reproductibilité

L'exactitude finale de l'appareillage d'essai est une fonction complexe dépendant des appareils de mesure et autres caractéristiques des conditions de mesure et des composants de l'équipement; il n'est donc pas toujours possible d'indiquer l'exactitude absolue qui peut être atteinte.

La précision des mesures étant affectée par une variation de température, des précautions doivent être prises pour éviter un échauffement de l'éprouvette. Les mesures sont effectuées à la température ambiante de $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

Pour une méthode donnée, l'expérience indique la reproductibilité ou l'ordre de grandeur de l'erreur de mesure qui peut être prévue. Cette erreur dépend des erreurs estimées des appareils de mesure; mais à condition d'opérer avec soin, une reproductibilité de 5% peut être escomptée pour ce groupe de matériaux moyennant l'utilisation d'appareils dont l'erreur de mesure estimée est inférieure ou égale à $\pm 1\%$.

MAGNETIC MATERIALS

Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of isotropic nickel-iron soft magnetic alloys, types E1, E3 and E4

1. Scope and object

This standard specifies the methods of measuring magnetic properties of isotropic nickel-iron soft magnetic alloys, types E1, E3 and E4, as defined in IEC Publication 404-1: Magnetic Materials, Part 1: Classification, by the ring method.

The determination of the magnetic characteristics under d.c. conditions is given in Chapter I, and the determination of the magnetic characteristics under a.c. conditions is given in Chapter II.

2. Reproducibility

The ultimate accuracy of test equipment is a complex function dependent upon measuring instruments and other characteristics of the measuring conditions and equipment; it is therefore not always possible to state the absolute accuracy that is attainable.

As the accuracy of the measurements is affected by a change in temperature, precautions shall be taken to avoid heating the test specimen. The measurements are made at an ambient temperature of $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

For a known method, experience shows the reproducibility or the size of the error that can be expected. This error depends upon the estimated errors of the measuring instruments, but with care, a reproducibility of 5% can be expected for this group of materials when using measuring instruments whose estimated measuring error is less than or equal to $\pm 1\%$.

CHAPITRE I: DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES MAGNÉTIQUES EN COURANT CONTINU

SECTION UN – GÉNÉRALITÉS

3. Objet

Ce chapitre a pour objet la définition de la «méthode du tore» employée pour la détermination de la courbe d'aimantation normale et du cycle d'hystérésis.

4. Domaine d'application

Cette méthode est utilisée particulièrement pour les champs d'intensité inférieure à 5 kA/m.

5. Epreuve

L'éprouvette doit être un anneau homogène de section rectangulaire ou circulaire. Généralement l'éprouvette consiste en:

- a) un noyau toroïdal en feuillard enroulé (type SW)*;
- b) un empilage de disques annulaires (type LR)*;
- c) un anneau usiné dans une pièce massive (type SR)*.

Le type d'éprouvette à utiliser est défini dans la norme de produit.

Note. – D'autres éprouvettes peuvent être utilisées par accord entre le producteur et l'acheteur.

Les bords de l'éprouvette doivent être ébavurés, si nécessaire. L'aire de section de l'anneau et le diamètre moyen de l'anneau doivent être de dimensions compatibles avec le lot de matériaux.

Pour réduire l'effet des variations radiales de l'intensité du champ magnétique, la relation suivante doit être appliquée:

$$D \leq 1,4 d \quad (1)$$

où:

D = diamètre extérieur de l'éprouvette (m)

d = diamètre intérieur de l'éprouvette (m)

Note. – Pour les noyaux toroïdaux en feuillard enroulé, $D \leq 1,6 d$ est permis.

Après sa réalisation, l'éprouvette doit subir un traitement thermique conformément aux instructions du producteur du matériau. Après le traitement thermique, l'éprouvette doit être manipulée avec de grandes précautions afin d'éviter l'introduction de contraintes. L'utilisation d'un boîtier de protection de dimensions appropriées est recommandée.

* Voir Publication 404-8-6 de la CEI: Matériaux magnétiques, Huitième partie, Section six – Matériaux métalliques magnétiquement doux.

CHAPTER I: DETERMINATION OF THE MAGNETIC CHARACTERISTICS UNDER D.C. CONDITIONS

SECTION ONE — GENERAL

3. Object

This chapter describes the “ring method” used to obtain the normal magnetization curve and the hysteresis loop.

4. Field of application

This method is used particularly for magnetic field strengths of less than 5 kA/m.

5. Test specimen

The test specimen shall be a homogeneous ring of rectangular or circular cross-section. Generally the specimen consists of:

- a) a strip wound toroidal core (Type SW)*;
- b) a stack of annular laminations (Type LR)*;
- c) a ring machined from solid material (Type SR)*.

The type of test specimen to be used is defined in the product standard.

Note. – Other test specimens can be used subject to agreement between the manufacturer and the purchaser.

The edges of the test specimen shall be deburred, if necessary. The cross-sectional area of the ring and the mean diameter of the ring shall be of any convenient size which can be fabricated from the batch of material.

To reduce the effect of the radial variation of the magnetic field strength, the following relationship shall apply:

$$D \leq 1.4 d \quad (1)$$

where:

D = outside diameter of specimen (m)

d = inside diameter of specimen (m)

Note. – For strip wound toroidal cores $D \leq 1.6 d$ is permitted.

After forming the ring specimen it shall be heat-treated according to the manufacturer's instructions for the material. After this heat treatment, the specimen shall be handled with great care to avoid creating stresses. The use of a protective case of appropriate dimensions is recommended.

* See IEC Publication 404-8-6: Magnetic Materials, Part 8, Section Six – Soft Magnetic Metallic Materials.

L'éprouvette doit être pesée avec une exactitude de $\pm 0,2\%$ et ses dimensions doivent être déterminées avec une exactitude de $\pm 0,5\%$ à partir d'au moins quatre mesures des diamètres extérieur et intérieur de l'anneau. L'aire moyenne de la section doit être calculée par la formule suivante:

$$A = \frac{2 m}{\pi \rho (D + d)} \quad (2)$$

où:

ρ = masse volumique du matériau (kg/m^3)

m = masse de l'éprouvette (kg)

A = aire de la section (m^2)

La longueur conventionnelle active du circuit magnétique de l'éprouvette doit être également calculée par la relation suivante:

$$l_m = \pi \frac{(D + d)}{2} \quad (3)$$

où

l_m est la longueur conventionnelle active du circuit magnétique de l'éprouvette (m)

6. Enroulements

Si l'éprouvette n'est pas protégée par un boîtier, une connexion dans le noyau doit être prévue en vue de vérifier l'isolation des enroulements; l'anneau doit être recouvert ensuite d'une mince couche d'isolant, en s'assurant qu'il n'y a pas de contrainte sur l'éprouvette.

En premier lieu, un fil de cuivre isolé, enroulé uniformément autour de l'anneau, constitue l'enroulement secondaire.

L'enroulement d'aimantation, constitué par un fil de section suffisante pour permettre le passage du courant maximal d'aimantation, est ensuite enroulé uniformément en une ou plusieurs couches sur l'anneau avec le nombre de spires nécessaire à la création de l'intensité de champ maximale spécifiée. L'enroulement d'aimantation peut être composé soit:

- a) d'un grand nombre de spires d'un fil unique appliqué uniformément et enserrant étroitement l'anneau entier, ou
- b) d'un assemblage de conducteurs rigides ou de conducteurs en partie rigides et en partie flexibles, qui peut être ouvert pour mise en place de l'anneau (supportant l'enroulement secondaire et les isolants) et qui peut être ensuite refermé pour former un toroïde réparti uniformément autour de l'anneau. Dans certains cas, l'enroulement secondaire est inclus dans cet assemblage.

Note. – Avec les dispositifs décrits ci-dessus, employés avec un enroulement secondaire réparti uniformément, une erreur, qui peut être présente dans n'importe quel essai de tore, pourra être amplifiée et prendre une importance considérable. Cette erreur vient du fait qu'en bobinant une éprouvette annulaire d'une façon toroïdale, une spire effectivement circulaire, de diamètre égal au diamètre moyen du tore, est ainsi produite.

L'inductance mutuelle entre les spires effectivement circulaires de l'enroulement d'aimantation et l'enroulement secondaire, associée au flux parallèle à l'axe de l'anneau, est ajoutée ou soustraite de l'inductance associée au flux circonferentiel. Pour éliminer cette erreur, une spire peut être enroulée en retour sur le secondaire le long de la circonférence moyenne de l'anneau ou, de préférence, le câble d'aimantation est à enrouler en nombre pair de couches, les couches alternées étant enroulées dans le sens des aiguilles d'une montre et dans le sens contraire.

The test specimen shall be weighed with an accuracy of $\pm 0.2\%$ and its dimensions shall be determined with an accuracy of $\pm 0.5\%$ from at least four measurements of the outside and inside diameters of the ring. The mean cross-sectional area shall be calculated from the following formula:

$$A = \frac{2 m}{\pi \rho (D + d)} \quad (2)$$

ρ = density of material (kg/m^3)

m = mass of the test specimen (kg)

A = cross-sectional area (m^2)

The conventional effective magnetic path length of the specimen shall also be calculated from the following relationship:

$$l_m = \pi \frac{(D + d)}{2} \quad (3)$$

where

l_m is the conventional effective magnetic path length of the test specimen (m)

6. Windings

If the test specimen is not protected by a case, then a connection shall be made to the core in order to check the insulation of the windings and then the ring shall be overlaid with a thin layer of insulating material, ensuring that no stress is put on the sample.

Firstly, a secondary winding of insulated copper wire shall be wound evenly round the core.

A magnetizing winding of wire capable of carrying the maximum magnetizing current and of a sufficient number of turns to produce the maximum required magnetic field strength shall be evenly wound in one or more layers on the core. The magnetizing winding can consist of either:

- a) a large number of turns of a single conductor applied closely and uniformly round the whole ring, or
- b) an arrangement of rigid, or part rigid and part flexible, conductors which can be opened to admit the ring (carrying the secondary winding and insulation) and then closed to form a uniformly wound toroid round the ring. In some cases, the secondary winding is included in this arrangement.

Note. – If the above arrangements are used with a uniformly distributed secondary winding, an error, which can be present in any ring test, is liable to be magnified and to become of considerable importance. This error arises from the fact that, in winding the ring specimen toroidally, an effective circular turn of diameter equal to the mean diameter of the ring is produced.

The mutual inductance between the effective circular turns of the magnetizing winding and the secondary winding, associated with the flux parallel to the axis of the ring, is added to, or subtracted from, the mutual inductance associated with the circumferential flux. To eliminate this error, a turn can be wound back on to the secondary winding along the mean circumference of the ring, or, preferably, the magnetizing cable should be wound in pairs of layers, alternate layers being wound clockwise and anti-clockwise around the ring.

SECTION DEUX — MÉTHODES DE MESURE

7. Intensité de champ magnétique

L'intensité du courant d'aimantation doit être mesurée à l'aide d'un ampèremètre de classe d'exactitude 1,0 ou meilleure, ou en utilisant un voltmètre numérique ayant une impédance interne élevée, associé à une résistance étalon donnant une exactitude analogue.

L'intensité du champ magnétique doit être calculée à partir de la relation suivante:

$$H = \frac{N_1 I_1}{l_m} \quad (4)$$

où:

H = intensité du champ magnétique (A/m)

N_1 = nombre de spires de l'enroulement d'aimantation de l'anneau

l_m = longueur conventionnelle active du circuit magnétique de l'éprouvette (m) (voir équation 3)

I_1 = intensité du courant d'aimantation (A)

8. Induction magnétique

L'enroulement secondaire (bobine B) doit être relié à un intégrateur de flux* dont l'étalonnage doit être réalisé avec une exactitude de 1% conformément à l'une des procédures définies dans l'annexe A.

A condition que le secondaire soit enroulé étroitement sur l'éprouvette (avec ou sans boîtier de protection), le flux dans l'air inclus dans l'enroulement secondaire sera insignifiant pour la gamme des champs compris entre 0 kA/m et 5 kA/m et aucune correction ne sera nécessaire.

9. Connexion des appareils

Les appareils doivent être connectés comme indiqué à la figure 1, page 40.

La source de courant continu doit être une batterie ou une source de courant continu stabilisé (voir annexe B) connectée en série avec l'ampèremètre A, l'inverseur S_1 et le commutateur S_4 à l'enroulement primaire d'aimantation N_1 du tore. Le commutateur S_5 étant fermé, le courant dans le circuit d'aimantation est réglé par la résistance R_1 . C'est le schéma du circuit d'aimantation pour la détermination de la courbe normale d'aimantation et pour la mesure des extrémités du cycle d'hystérésis. Le commutateur S_5 , conjointement avec la résistance R_4 , est utilisé pour la détermination du cycle d'hystérésis entier.

Le circuit secondaire comprend l'enroulement secondaire N_2 (bobine B) relié en série à l'intégrateur de flux F et à la résistance R_2 (réglage de sensibilité). La résistance R_3 est un shunt de réglage rendu nécessaire par l'utilisation de certains types d'intégrateur de flux.

* L'intégrateur de flux peut être un galvanomètre balistique, un fluxmètre ou un intégrateur électronique.

SECTION TWO — METHODS OF MEASUREMENT

7. Magnetic field strength

The magnetizing current shall be measured with an ammeter of accuracy class 1.0 or better, or by using a digital voltmeter having a high input impedance together with a precision resistor giving a similar accuracy.

The magnetic field strength shall be calculated from the following relationship:

$$H = \frac{N_1 I_1}{l_m} \quad (4)$$

where:

H = magnetic field strength (A/m)

N_1 = number of turns in the magnetizing winding of the ring

l_m = conventional effective magnetic path length of the test specimen (m) (see equation 3)

I_1 = magnetizing current (A)

8. Magnetic flux density

The secondary winding (B coil) shall be connected to a flux integrator* the calibration of which shall be established with an uncertainty of 1% in accordance with one of the procedures given in Appendix A.

Provided that the secondary winding is wound close to the test specimen (with or without protective case), the air flux included in the secondary winding over the range of magnetic field strength 0 kA/m to 5 kA/m will be insignificant and no correction need be applied.

9. Connection of apparatus

The apparatus shall be connected as shown in Figure 1, page 40.

The source of direct current shall be a battery or a stabilized d.c. supply (see Appendix B) connected in series through an ammeter A, reversing switch S_1 and changeover switch S_4 to the primary (magnetizing) winding N_1 on the ring specimen. With switch S_5 closed, the current in the magnetizing circuit is controlled by resistor R_1 . This is the arrangement of the magnetizing circuit for the determination of the normal magnetization curve and for the measurement of the tips of hysteresis loops. Switch S_5 together with resistor R_4 is used in the determination of the complete hysteresis loop.

The secondary circuit comprises the secondary winding N_2 (B coil) connected in series with the flux integrator F through resistor R_2 (sensitivity control). Resistor R_3 is a shunt control required with some types of flux integrator.

* The flux integrator can be a ballistic galvanometer, fluxmeter or electronic charge integrator.

10. Détermination de la courbe d'aimantation normale

L'éprouvette est soigneusement désaimantée à partir d'un champ d'intensité au moins dix fois supérieure à celle du champ coercitif, par une lente inversion du courant continu, que l'on réduit graduellement jusqu'à zéro.

Notes 1. – Le champ magnétique doit pouvoir pénétrer complètement dans l'éprouvette; ainsi, pour les pièces massives, la durée pour l'inversion doit être supérieure à 2 s pour une section de 10 mm × 10 mm et à 10 s pour une section de 20 mm × 20 mm.

2. – Pour les matériaux empilés, une méthode par courant alternatif peut être utilisée (voir article 23).

L'intégrateur de flux doit être étalonné conformément à l'annexe A.

Le commutateur S_4 doit être fermé en position 2 et un faible courant, correspondant à une faible intensité de champ magnétique (voir équation 4), doit circuler à travers l'enroulement primaire d'aimantation N_1 . Le courant doit être inversé dix fois à l'aide de l'inverseur S_1 de façon à maintenir le matériau dans un état cyclique régulier.

Le commutateur S_2 peut être fermé durant l'opération pour maintenir à zéro l'intégrateur de flux. Le commutateur S_2 étant ouvert, l'indication de l'intégrateur de flux correspondant à l'inversion du champ magnétique est notée et l'induction magnétique correspondante est calculée.

En augmentant successivement le courant d'aimantation et en répétant cette procédure, des valeurs correspondantes de l'intensité de champ magnétique et de l'induction magnétique peuvent être obtenues, à partir desquelles une courbe d'aimantation normale peut être tracée.

Le courant d'aimantation ne doit jamais décroître durant les mesures, sinon l'éprouvette doit être désaimantée avant de reprendre les mesures.

11. Détermination d'un cycle d'hystérésis complet

L'éprouvette doit être désaimantée et les extrémités du cycle d'hystérésis sont déterminées en mesurant les valeurs correspondantes du champ magnétique et de l'induction magnétique selon l'article 10.

La partie PQ du cycle d'hystérésis (voir figure 2, page 41) doit être ensuite déterminée en ouvrant le commutateur S_5 et en mesurant le champ magnétique et la variation de l'induction magnétique correspondants lorsque l'inverseur S_1 est ouvert à partir de la position 1. En réglant la résistance R_4 , un certain nombre de points de la courbe PQ peut être obtenu. Le point Q doit être obtenu en fermant le commutateur S_5 et en mesurant la variation de l'induction magnétique à l'ouverture de l'inverseur S_1 .

La valeur de l'intensité du champ magnétique en chaque point doit être calculée à partir de la valeur mesurée du courant passant quand le commutateur S_5 est ouvert (équation 4); les résistances R_1 et R_4 doivent être respectivement réglées pour obtenir:

- Résistance R_1 : la valeur du champ magnétique $+H$ ou $-H$, point P ou S sur le cycle (figure 2).
- Résistance R_4 : les valeurs du champ magnétique $+H'$ ou $-H'$, points P'T' ou points Q'S' sur le cycle (figure 2).

10. Determination of normal magnetization curve

The specimen shall be carefully demagnetized from a magnetic field strength of at least ten times the coercivity by slowly reversing a gradually reducing direct current to zero.

Notes 1. – The magnetic field should completely penetrate the specimen, so for solid material, the duration of reversal should be greater than 2 s for a cross-section 10 mm×10 mm and 10 s for a cross-section of 20 mm×20 mm.

2. – For laminated material, an alternating current method can be used (see Clause 23).

The flux integrator shall be calibrated as described in Appendix A.

Switch S_4 shall be closed in position 2 and a small current corresponding to a small field strength (see equation 4) shall be passed through the primary (magnetizing) winding N_1 . The current shall be reversed about ten times by means of reversing switch S_1 to bring the material into a steady cyclic state.

Switch S_2 may be closed during the operation to maintain the flux integrator at zero. With switch S_2 open, the flux integrator reading corresponding to the reversal of the magnetizing field shall be recorded and the corresponding magnetic flux density shall be calculated.

By successively increasing the magnetizing current and repeating this procedure, corresponding values of magnetic field strength and magnetic flux density can be obtained from which a normal magnetization curve can be plotted.

The magnetizing current shall never be decreased during the measurements otherwise the specimen shall be demagnetized before resuming measurements.

11. Determination of a complete hysteresis loop

The specimen shall be demagnetized and the tip points of the hysteresis loop shall be determined by measuring the corresponding values of magnetic field strength and magnetic flux density in accordance with Clause 10.

Portion PQ of the hysteresis loop (see Figure 2, page 41) shall then be determined by opening switch S_3 and measuring the corresponding magnetic field strength and change in magnetic flux density while reversing switch S_1 remains closed in position 1. By adjusting resistor R_4 , a number of points on the curve PQ can be obtained. The point Q shall be obtained by closing switch S_5 and measuring the change in magnetic flux density when opening switch S_1 .

The value of the magnetic field strength at each point shall be calculated from the measured value of current flowing when S_5 is opened (equation 4), resistors R_1 and R_4 respectively shall be adjusted to obtain:

- Resistor R_1 : values of magnetic field strength $+H$ or $-H$ that is point P or point S on the loop (Figure 2).
- Resistor R_4 : values of magnetic field strength $+H'$ or $-H'$ that is points P'T' or points Q'S' on the loop (Figure 2).

La valeur de l'induction magnétique en chaque point doit être calculée à partir de la relation suivante:

$$B_{PQ} = B_P - \Delta B \quad (5)$$

où:

B_{PQ} = induction magnétique sur la courbe PQ (T)

B_P = induction magnétique à la pointe du cycle d'hystérésis (T)

ΔB = variation de l'induction magnétique mesurée à l'ouverture du commutateur S_5 (T)

La partie QS du cycle d'hystérésis doit être déterminée avec le commutateur S_5 ouvert. Les modifications de l'intensité du champ magnétique et de l'induction magnétique doivent être mesurées en premier lieu avec le commutateur S_1 en position ouverte et ensuite en le fermant à la position 2.

La valeur de l'intensité du champ magnétique en chaque point doit être calculée à partir de la valeur mesurée du courant circulant quand S_1 est fermé en position 2 (voir équation 4).

La valeur de l'induction magnétique en chaque point doit être calculée à partir de l'équation suivante:

$$B_{QS} = B_Q - \Delta B \quad (6)$$

où:

B_{QS} = induction magnétique sur la courbe QS (T)

B_Q = induction magnétique au point Q (T)

ΔB = variation de l'induction magnétique mesurée quand le commutateur S_1 est fermé (T)

Pendant toutes les mesures, l'éprouvette doit être maintenue dans un état cyclique régulier. En conséquence, la séquence des commutations doit être conforme à la procédure définie dans le tableau suivant:

TABLEAU I

Séquence des commutations

	Inverseur S_1	Commutateur S_5	Lieu
1	Fermé (1)	Fermé	P
2	Fermé (1)	Ouvert	P'
3	Ouvert	Ouvert	Q
4	Fermé (2)	Ouvert	Q'
5	Fermé (2)	Fermé	S
6	Fermé (2)	Ouvert	S'
7	Ouvert	Ouvert	T
8	Fermé (1)	Ouvert	T'
9	Fermé (1)	Fermé	P

The value of the magnetic flux density at each point shall be calculated from the following relationship:

$$B_{PQ} = B_P - \Delta B \quad (5)$$

where:

B_{PQ} = magnetic flux density on curve PQ (T)

B_P = magnetic flux density at tip of hysteresis loop (T)

ΔB = change in magnetic flux density measured when switch S_5 is opened (T)

Portion *QS* of the hysteresis loop shall be determined with the switch S_5 open. Changes in magnetic field strength and magnetic flux density shall be measured starting with switch S_1 in the open position and then closing it in position 2.

The value of the magnetic field strength at each point shall be calculated from the measured value of the current flowing when S_1 is closed in position 2 (see equation 4).

The value of the magnetic flux density at each point shall be calculated from the following relationship:

$$B_{QS} = B_Q - \Delta B \quad (6)$$

where:

B_{QS} = magnetic flux density on curve QS (T)

B_Q = magnetic flux density at point Q (T)

ΔB = change in magnetic flux density measured when switch S_1 is closed (T)

Throughout the measurements the specimen shall be kept in a steady cyclic state. Therefore the switching sequence shall conform to the procedure given in the following table:

TABLE I

Switching sequence

	Reversing switch S_1	Shorting switch S_5	Point on loop
1	Closed (1)	Closed	P
2	Closed (1)	Open	P'
3	Open	Open	Q
4	Closed (2)	Open	Q'
5	Closed (2)	Closed	S
6	Closed (2)	Open	S'
7	Open	Open	T
8	Closed (1)	Open	T'
9	Closed (1)	Closed	P

Comme la partie STUP du cycle est symétrique de la partie PQRS, les mesures sont normalement faites uniquement sur la moitié du cycle d'hystérésis.

Note. – L'utilisation d'un intégrateur de flux électronique rend également possible la détermination du cycle d'hystérésis complet par de faibles variations de l'intensité de champ magnétique.

En reliant la sortie de l'intégrateur de flux à l'axe Y d'un enregistreur XY et en appliquant un signal proportionnel au courant d'aimantation à l'axe X, le cycle d'hystérésis peut être tracé automatiquement.

12. Détermination de l'induction rémanente

Pour un cycle d'hystérésis donné, l'induction rémanente du matériau est la valeur de l'induction magnétique, en teslas, quand l'intensité du champ magnétique est nulle (point Q sur le cycle d'hystérésis ou son point symétrique T); elle peut être déterminée conformément à l'article 11.

13. Détermination du champ coercitif

Pour un cycle d'hystérésis donné, le champ coercitif du matériau est la valeur du champ magnétique, en ampères par mètre, quand l'induction magnétique est nulle (point R sur le cycle d'hystérésis ou son symétrique U). Ce point est généralement obtenu par interpolation entre R'R'' et U'U'' et peut être déterminé conformément à l'article 11.

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF
404-6:1986

Since portion STUP of the loop is symmetrical with portion PQRS, measurements are normally only made for one half of the hysteresis loop.

Note. – Using an electronic flux integrator it is also possible to determine the complete hysteresis loop by slow changes in the magnetic field strength.

By connecting the output from the flux integrator to the Y-axis of an XY recorder and applying a signal proportional to the magnetizing current to the X axis, the hysteresis loop can be automatically plotted.

12. Determination of remanent flux density

For a given hysteresis loop, the remanent flux density of the material is the value of the magnetic flux density in teslas when the magnetic field strength is zero (point Q on the hysteresis loop or the symmetrical point T) and can be determined in accordance with Clause 11.

13. Determination of coercive field strength

For a given hysteresis loop, the coercive field strength of the material is the value of the magnetic field strength, in amperes per metre, when the magnetic flux density is zero (point R on the hysteresis loop or the symmetrical point U). This point is normally obtained by interpolation between R'R'' and U'U'', and can be determined in accordance with Clause 11.

CHAPITRE II: DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES MAGNÉTIQUES EN COURANT ALTERNATIF

SECTION UN – GÉNÉRALITÉS

14. Objet

Ce chapitre a pour objet la définition des méthodes employées pour la détermination de la courbe d'aimantation en courant alternatif et des pertes totales spécifiques, aux fréquences industrielles.

Note. – Le principe des méthodes décrites peut être utilisé pour des fréquences plus élevées en employant un appareillage approprié et en prenant des précautions particulières.

Si un voltmètre de valeur moyenne redressée est utilisé comme prévu dans la méthode B de l'article 20.2, cette méthode fournira des résultats corrects seulement si la tension induite dans l'enroulement secondaire de l'inductance mutuelle ne s'annule que deux fois par période. Si elle s'annule plus de deux fois, comme cela peut être le cas avec des échantillons ayant une bonne conductivité ou avec des fréquences plus élevées, la valeur moyenne vraie de la demi-onde doit être mesurée, c'est-à-dire un dispositif de mesure avec un redresseur à contrôle de phase doit être utilisé.

15. Domaine d'application

Ces méthodes sont utilisées particulièrement pour les champs d'intensité inférieure à 5 kA/m pour les mesures sur un matériau laminé.

16. Eprouvette

L'éprouvette doit être comme indiqué dans l'article 5: point *a)* ou point *b)*. Une fine couche d'isolant doit être prévue entre chaque tôle pour éviter les effets des courants de Foucault.

17. Enroulements

Les enroulements doivent être effectués conformément à l'article 6.

18. Forme de l'onde

Afin d'obtenir des résultats comparatifs, une induction sinusoïdale doit être utilisée pour les mesures. Deux voltmètres V_1 et V_2 de classe d'exactitude 0,5, ayant une impédance suffisamment élevée pour ne pas modifier de façon significative les pertes mesurées, doivent être reliés en parallèle à l'enroulement N_2 , le premier mesurant la valeur moyenne redressée, le second la valeur efficace; le facteur de forme est déterminé par le rapport de la valeur efficace et de la valeur moyenne redressée.

Lorsque ce facteur de forme ne s'écarte pas de plus de 1% de la valeur 1,111 et que la forme d'onde observée sur l'oscillographe ne présente pas de distorsion significative, la teneur en harmoniques de la tension secondaire, et en conséquence de l'induction, sera suffisamment petite.

CHAPTER II: DETERMINATION OF THE MAGNETIC CHARACTERISTICS UNDER A.C. CONDITIONS

SECTION ONE — GENERAL

14. Object

This chapter describes the methods used to obtain the a.c. magnetization curve and the specific total loss, at power frequencies.

Note. – The principle of the methods described can be used for higher frequencies, using suitable equipment and with special precautions.

If an average rectified type voltmeter is used in method B of Clause 20.2 as provided, this method will furnish correct results only when the voltage induced in the secondary windings of the mutual inductor nulls only twice per period. If it nulls more than twice, as can be the case with samples having good conductivity or in the case of higher frequencies, the real half wave average value must be measured, i.e. a measuring device with a phase-controlled rectifier must be used.

15. Field of application

These methods are used particularly for magnetic field strengths of less than 5 kA/m for measurement on laminated material.

16. Test specimen

The test specimen shall be as specified in Clause 5: Item *a*) or Item *b*). A thin insulating layer shall be provided between the laminations to avoid eddy current effects.

17. Windings

The windings shall be prepared as described in Clause 6.

18. Waveform

In order to obtain comparable results, sinusoidal flux density shall be used for the measurements. Two voltmeters V_1 and V_2 of accuracy class 0.5, having a sufficiently high impedance not to add significantly to the measured loss, shall be connected in parallel to the voltage winding N_2 , the former measuring the average rectified value and the latter measuring the r.m.s. value; the form factor determined from the ratio of the r.m.s. value to the average rectified value.

When this form factor does not deviate from 1.111 by more than 1 %, and at the same time the wave shape as observed on the oscilloscope does not show obvious distortion, the harmonic content of the secondary voltage, and hence of the flux density, will be sufficiently small.

SECTION DEUX — MÉTHODES DE MESURE — COURBE D'AIMANTATION EN COURANT ALTERNATIF

19. Connexion des appareils

Les appareils doivent être connectés comme indiqué à la figure 3, page 41.

Une source de courant alternatif, ayant une faible impédance interne et une variation de tension et fréquence à sa sortie ne dépassant pas $\pm 0,2\%$ de la valeur réglée pendant les mesures, doit être reliée en série à un ampèremètre donnant une vraie valeur efficace à l'enroulement d'aimantation N_1 de l'éprouvette.

Le circuit secondaire comprend un enroulement secondaire N_2 relié à deux voltmètres en parallèle. Le premier voltmètre V_2 donne la vraie valeur efficace; l'autre, V_1 , mesure la tension redressée mais est généralement gradué en tension redressée $\times 1,111$.

20. Intensité de champ magnétique

20.1. Valeur efficace de l'intensité de champ magnétique

La valeur efficace du courant d'aimantation doit être mesurée avec une exactitude de 1 % à l'aide d'un ampèremètre de valeur efficace ou d'un voltmètre efficace relié à une résistance étalon, non inductive.

L'intensité de champ magnétique doit être calculée à partir de la relation suivante:

$$\tilde{H} = \frac{N_1 \tilde{I}_1}{l_m} \quad (7)$$

où:

$\tilde{H}$ = valeur efficace de l'intensité de champ magnétique (A/m)

N_1 = nombre de spires de l'enroulement d'aimantation de l'anneau

l_m = longueur conventionnelle active du circuit magnétique de l'éprouvette (m) (voir équation 3)

$\tilde{I}_1$ = valeur efficace du courant d'aimantation (A)

20.2. Valeur de crête de l'intensité de champ magnétique

La valeur de crête de l'intensité de champ magnétique doit être déterminée à partir de la valeur de crête $\hat{I}_1$ du courant primaire. Les méthodes de mesure sont les suivantes:

Méthode A: la valeur de crête $\hat{I}_1$ peut être déterminée en mesurant au moyen d'un voltmètre de valeur de crête la chute de tension aux bornes d'une résistance de précision de valeur connue.

La valeur de crête de l'intensité de champ magnétique doit être calculée à partir de la relation suivante:

$$\hat{H} = \frac{N_1}{R_n l_m} \hat{U}_m \quad (8)$$

où:

$\hat{H}$ = valeur de crête de l'intensité de champ magnétique (A/m)

N_1 = nombre de spires de l'enroulement d'aimantation de l'anneau

l_m = longueur conventionnelle active du circuit magnétique de l'éprouvette (m) (voir équation 3)

R_n = valeur de la résistance de précision (Ω)

$\hat{U}_m$ = valeur de crête de la chute de tension aux bornes de R_n (V)

SECTION TWO — METHODS OF MEASUREMENT — A.C. MAGNETIZATION CURVE

19. Connection of apparatus

The apparatus shall be connected as shown in Figure 3, page 41.

A source of alternating current, having a low internal impedance and a variation of voltage and frequency at its output not individually exceeding $\pm 0.2\%$ of the adjusted value during the measurement, shall be connected through a true r.m.s. reading ammeter to the magnetizing winding N_1 on the ring specimen.

The secondary circuit comprises a secondary winding N_2 connected to two voltmeters in parallel. One voltmeter, V_2 reads true r.m.s., the other, V_b , measures the average rectified voltage but is generally scaled in average rectified voltage $\times 1.111$.

20. Magnetic field strength

20.1 The r.m.s. magnetic field strength

The r.m.s. magnetizing current shall be measured to an accuracy of 1% by means of a true r.m.s. ammeter or with a true r.m.s. voltmeter connected across a precision non-inductive resistor.

The magnetic field strength shall be calculated from the following relationship:

$$\tilde{H} = \frac{N_1 \tilde{I}_1}{l_m} \quad (7)$$

where:

$\tilde{H}$ = r.m.s. magnetic field strength (A/m)

N_1 = number of turns in the magnetizing winding of the ring

l_m = conventional effective magnetic path length of the test specimen (m) (see equation 3)

$\tilde{I}_1$ = r.m.s. magnetizing current (A)

20.2 Peak value of magnetic field strength

The peak value of magnetic field strength shall be derived from the peak value $\hat{I}_1$ of the primary current. The measurement methods are:

Method A: The peak value $\hat{I}_1$ can be determined by measuring the voltage drop across a known precision resistor using a peak voltmeter.

The peak value of magnetic strength shall be calculated from the following relationship:

$$\hat{H} = \frac{N_1}{R_n l_m} \hat{U}_m \quad (8)$$

where:

$\hat{H}$ = peak value of magnetic field strength (A/m)

N_1 = number of turns in the magnetizing winding of the ring

l_m = conventional effective magnetic path length of the test specimen (m) (see equation 3)

R_n = value of the precision resistor (Ω)

$\hat{U}_m$ = peak voltage drop across R_n (V)

Méthode B: la valeur de crête $\hat{I}$ peut être déterminée en mesurant au moyen d'un voltmètre de valeur moyenne redressée, la tension apparaissant aux bornes de l'enroulement secondaire d'une inductance mutuelle dont l'enroulement primaire est parcouru par le courant d'aimantation.

La valeur de crête de l'intensité de champ magnétique doit être calculée à partir de la relation suivante:

$$\hat{H} = \frac{N_1}{4 f M l_m} \cdot \frac{R_v + R_m}{R_v} \cdot \bar{U}_m \quad (9)$$

où:

$\hat{H}$ = valeur de crête de l'intensité de champ magnétique (A/m)

N_1 = nombre de spires de l'enroulement d'aimantation de l'anneau

f = fréquence (Hz)

M = inductance mutuelle (H)

l_m = longueur conventionnelle active du circuit magnétique de l'éprouvette (m) (voir équation 3)

R_v = résistance interne du voltmètre de valeur moyenne redressée (Ω)

R_m = résistance de l'enroulement secondaire de l'inductance mutuelle (Ω)

$\bar{U}_m$ = valeur moyenne redressée de la tension secondaire induite aux bornes de l'inductance mutuelle (V)

21. Induction magnétique

L'enroulement secondaire (bobine B) doit être relié à deux voltmètres en parallèle et la forme d'onde doit être vérifiée selon l'article 19. La tension secondaire doit ensuite être mesurée à l'aide du voltmètre de valeur moyenne redressée V_1 et l'induction magnétique doit être calculée selon la formule suivante:

$$\bar{U}_2 = 4 f A \hat{B} N_2 \quad (10)$$

où:

$\bar{U}_2$ = valeur moyenne redressée de la tension secondaire induite (V)

f = fréquence (Hz)

$\hat{B}$ = valeur de crête de l'induction magnétique (T)

A = aire de la section de l'éprouvette (m²)

N_2 = nombre de spires de l'enroulement secondaire

22. Perméabilité

La perméabilité d'amplitude est calculée par l'une des relations suivantes:

$$\tilde{\mu}_a = \frac{1}{\mu_o} \cdot \frac{\hat{B}}{\sqrt{2} \hat{H}} \quad (11)$$

$$\mu_a = \frac{1}{\mu_o} \cdot \frac{\hat{B}}{\hat{H}} \quad (12)$$

où:

$\tilde{\mu}_a$ = perméabilité d'amplitude (valeur efficace)

μ_o = constante magnétique (H/m)

μ_a = perméabilité d'amplitude

$\hat{B}$ = valeur de crête de l'induction magnétique (T)

$\hat{H}$ = valeur efficace de l'intensité de champ magnétique (A/m)

$\hat{H}$ = valeur de crête de l'intensité de champ magnétique (A/m)

Method B: The peak value $\hat{I}$ can be determined by measuring the voltage appearing across the secondary winding of a mutual inductor, the primary winding of which carries the magnetizing current, by using an average rectifier type voltmeter.

The peak value of the magnetic field strength shall be calculated from the following relationship:

$$\hat{H} = \frac{N_1}{4 f M l_m} \cdot \frac{R_v + R_m}{R_v} \cdot \bar{U}_m \quad (9)$$

where:

$\hat{H}$ = peak value of the magnetic field strength (A/m)

N_1 = number of turns in the magnetizing winding of the ring

f = frequency (Hz)

M = mutual inductance (H)

l_m = conventional effective magnetic path length of the test specimen (m) (see equation 3)

R_v = internal resistance of the average type voltmeter (Ω)

R_m = resistance of the secondary winding of the mutual inductor (Ω)

$\bar{U}_m$ = average rectified value of the secondary induced voltage across the mutual inductor (V)

21. Magnetic flux density

The secondary winding (B coil) shall be connected to the two voltmeters in parallel and the flux waveform checked according to Clause 19. The secondary voltage shall then be measured using the average rectifier voltmeter V_1 and the magnetic flux density shall be calculated according to the following equation:

$$\bar{U}_2 = 4 f A \hat{B} N_2 \quad (10)$$

where:

$\bar{U}_2$ = average rectified value of the secondary induced voltage (V)

f = frequency (Hz)

$\hat{B}$ = peak magnetic flux density (T)

A = cross-sectional area of test specimen (m^2)

N_2 = number of turns in the secondary winding

22. Permeability

The amplitude permeability shall be calculated from one of the following relationships:

$$\tilde{\mu}_a = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\hat{B}}{\sqrt{2} \hat{H}} \quad (11)$$

$$\mu_a = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\hat{B}}{\hat{H}} \quad (12)$$

where:

$\tilde{\mu}_a$ = r.m.s. amplitude permeability

μ_0 = magnetic constant (H/m)

μ_a = amplitude permeability

$\hat{B}$ = peak magnetic flux density (T)

$\hat{H}$ = r.m.s. magnetic field strength (A/m)

$\hat{H}$ = peak value of the magnetic field strength (A/m)

23. Détermination de la courbe d'aimantation en courant alternatif

L'éprouvette doit être soigneusement désaimantée à partir d'un champ d'intensité d'au moins dix fois le champ coercitif, par une lente réduction du champ à 50 Hz ou à 60 Hz jusqu'à zéro.

En augmentant successivement le courant d'aimantation, des valeurs correspondantes de l'intensité de champ magnétique et de la valeur de crête de l'induction magnétique peuvent être obtenues, à partir desquelles une courbe d'aimantation en courant alternatif peut être tracée.

SECTION TROIS – MÉTHODES DE MESURE DES PERTES TOTALES SPÉCIFIQUES

24. Méthode du wattmètre

24.1 Appareillage

24.1.1 Mesure de la tension

24.1.1.1 Voltmètre de valeur moyenne redressée

La valeur moyenne de la tension secondaire doit être mesurée à l'aide d'un voltmètre de valeur moyenne redressée de classe 0,5 ou meilleure.

Note. – Les appareils de ce type sont généralement gradués en valeur moyenne redressée, multipliée par 1,11.

Des voltmètres électroniques peuvent être également utilisés. La charge du circuit secondaire doit être aussi faible que possible. Par conséquent, la résistance interne du voltmètre de valeur moyenne redressée doit être au moins égale à 1000 Ω/V .

Un amplificateur ayant une impédance d'entrée supérieure ou égale à 1000 Ω/V peut être utilisé si l'exactitude totale du dispositif (y compris l'appareil de mesure) est équivalente à celle d'un voltmètre de classe 0,5 ou meilleure.

24.1.1.2 Voltmètre de valeur efficace

Un voltmètre de valeur efficace de classe 0,5 ou meilleure doit être utilisé.

24.1.2 Mesure de la fréquence

Un fréquencemètre de classe 0,5 ou meilleure doit être utilisé. Un instrument de classe 0,2 doit être utilisé lorsqu'on vise une grande exactitude de mesurage.

24.1.3 Mesure de la puissance

La puissance doit être mesurée au moyen d'un wattmètre très sensible, de classe 0,5 ou meilleure, adapté à des circuits à faible facteur de puissance ($\cos \phi = 0,1$ ou $0,2$). Les lectures dans le premier quart d'échelle doivent être évitées autant que possible.

La résistance du circuit de tension du wattmètre doit être supérieure ou égale à 100 Ω/V pour tous les calibres. Si nécessaire, les pertes dans le circuit secondaire doivent être soustraites de la valeur des pertes indiquées. Un wattmètre électronique approprié peut être utilisé.

24.2 Connexion des appareils

Les appareils doivent être connectés comme indiqué à la figure 4, page 42.

23. Determination of a.c. magnetization curve

The specimen shall be carefully demagnetized from a value of field strength of not less than ten times the coercivity by slowly reducing the magnitude of a 50 Hz or 60 Hz field to zero.

By successively increasing the magnetizing current, corresponding values of the magnetic field strength and peak magnetic flux density can be obtained from which an a.c. magnetization curve can be plotted.

SECTION THREE — METHOD OF MEASUREMENT OF SPECIFIC TOTAL LOSSES

24. Wattmeter method

24.1 Apparatus

24.1.1 Voltage measurement

24.1.1.1 Average type voltmeter

The average value of the secondary rectified voltage shall be measured by an average type voltmeter of class 0.5 or better.

Note. — Instruments of this type are usually graduated in average rectified value multiplied by 1.111.

Electronic voltmeters can also be used. The load on the secondary circuit of the network shall be as small as possible. Consequently, the internal resistance of the average type voltmeter shall be at least 1000 Ω/V .

An amplifier with input impedance greater than or equal to 1000 Ω/V can be used, if the total accuracy of the apparatus (including measuring instrument) is equivalent to that of a voltmeter of class 0.5 or better.

24.1.1.2 R.M.S. voltmeter

A voltmeter of accuracy class 0.5 or better, responsive to r.m.s. values shall be used.

24.1.2 Frequency measurement

A frequency meter of class 0.5 or better shall be used. An instrument of class 0.2 shall be used when high accuracy measurements are required.

24.1.3 Power measurement

The power shall be measured by a highly sensitive wattmeter of class 0.5 or better, suitable for circuits of low power factor ($\cos \phi = 0.1$ or 0.2). Readings in the first quarter of the scale shall be avoided as far as possible.

The resistance of the voltage circuit of the wattmeter shall be greater than or equal to 100 Ω/V for all ranges. If necessary the losses in the secondary circuit shall be subtracted from the indicated loss value. A suitable electronic wattmeter can be used.

24.2 Connection of apparatus

The apparatus shall be connected as shown in Figure 4, page 42.

24.3 Mesure des pertes

L'éprouvette doit être soigneusement désaimantée comme indiqué dans l'article 23.

Le courant doit être augmenté jusqu'à ce que la valeur mesurée sur le voltmètre V_1 (indiquant la valeur moyenne redressée de la tension) corresponde à la valeur requise de l'induction magnétique telle que calculée par l'équation (10). La lecture du wattmètre doit alors être notée.

24.4 Détermination des pertes totales spécifiques

La puissance P_m mesurée par le wattmètre comprend la puissance consommée par les instruments du circuit secondaire; celle-ci est égale, en première approximation, à $(1,111 |\bar{U}_2|)^2/R_i$ puisque la tension secondaire est essentiellement sinusoïdale.

Les pertes totales P_c de l'éprouvette doivent donc être calculées d'après l'équation:

$$P_c = \left[\frac{N_1}{N_2} \cdot P_m \right] - \frac{(1,111 |\bar{U}_2|)^2}{R_i}$$

où:

P_c = pertes totales calculées de l'éprouvette (W)

P_m = puissance mesurée par le wattmètre (W)

N_1 = nombre de spires de l'enroulement primaire

N_2 = nombre de spires de l'enroulement secondaire

R_i = résistance équivalente combinée des instruments dans le circuit secondaire (Ω)

$\bar{U}_2$ = valeur moyenne redressée de la tension secondaire induite (V)

Les pertes totales spécifiques P_s doivent être obtenues en divisant P_c par la masse de l'éprouvette.

$$P_s = \frac{P_c}{m} \quad (16)$$

où:

P_s = pertes totales spécifiques de l'éprouvette (W/kg)

m = masse totale de l'éprouvette (kg)

Les pertes totales spécifiques ainsi calculées doivent être arrondies au centième de watt par kilogramme.

Note. – Les pertes totales spécifiques peuvent être également mesurées en utilisant d'autres dispositifs de mesure de la puissance s'il est démontré que ceux-ci possèdent une précision équivalente.

24.3 Measurement of losses

The test specimen shall be carefully demagnetized as described in Clause 23.

The supply shall be increased until the voltage measured on voltmeter V_1 (indicating the average rectified voltage) corresponds to the required magnetic flux density as calculated from equation (10). The wattmeter reading shall then be recorded.

24.4 Determination of specific total loss

The power P_m measured by the wattmeter includes the power consumed by the instruments in the secondary circuit, which to a first approximation is equal to $(1.111 |\bar{U}_2|)^2 / R_i$ since the secondary voltage is essentially sinusoidal.

Thus, the total loss P_c of the test specimen shall be calculated in accordance with the equation:

$$P_c = \left[\frac{N_1}{N_2} \cdot P_m \right] - \frac{(1.111 |\bar{U}_2|)^2}{R_i}$$

where:

P_c = calculated total losses of test specimen (W)

P_m = power measured by the wattmeter (W)

N_1 = number of turns of the primary winding

N_2 = number of turns of the secondary winding

R_i = combined equivalent resistance of the instruments in the secondary circuit (Ω)

$\bar{U}_2$ = average rectified value of the secondary induced voltage (V)

The specific total loss P_s shall be obtained by dividing P_c by the mass of the test specimen.

$$P_s = \frac{P_c}{m} \quad (16)$$

where:

P_s = specific total loss of test specimen (W/kg)

m = total mass of test specimen (kg)

The specific total loss calculated in this way shall be rounded to the nearest hundredth of a watt per kilogram.

Note. – The specific total loss can also be measured using other power measuring devices if these can be shown to have equivalent performance.

CHAPITRE III: PROCÈS-VERBAL D'ESSAI

Le procès-verbal d'essai comporte, selon les cas:

- le type et les dimensions de l'éprouvette;
- la valeur de la masse volumique de l'éprouvette;
- la méthode d'essai utilisée;
- les paramètres mesurés et leur incertitude de mesurage;
- la valeur de la température ambiante.

CHAPTER III: TEST REPORT

The test report shall contain as necessary:

- the type and dimensions of the test specimen;
- the value of the density of the material;
- the test method used;
- the parameters measured and their uncertainty;
- the value of the ambient temperature.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60404-6:1986

ANNEXE A

MODES D'ÉTALONNAGE DE L'INTÉGRATEUR DE FLUX POUR LES ESSAIS EN COURANT CONTINU

Les deux modes suivants d'étalonnage de l'intégrateur de flux sont normalement employés:

- utilisation d'une inductance mutuelle de valeur connue;
- décharge d'un condensateur étalon.

A1. Méthode de l'inductance mutuelle

L'enroulement primaire d'une inductance mutuelle de valeur connue est connecté à la place de l'enroulement primaire de l'éprouvette. L'enroulement secondaire de l'inductance mutuelle est connecté en série avec l'enroulement secondaire de l'éprouvette, comme indiqué à la figure 1, page 40.

Pour étalonner, une variation appropriée de la valeur du courant circulant dans l'enroulement primaire de l'inductance mutuelle est réalisée et l'indication de l'intégrateur de flux est notée.

Cette valeur correspond à la variation de l'induction magnétique donnée par l'équation suivante:

$$\Delta B = \frac{M \Delta I}{N_2 A} \quad (17)$$

où:

N_2 = nombre de spires de l'enroulement secondaire de l'éprouvette

M = inductance mutuelle (H)

A = aire moyenne de la section de l'éprouvette (m²)

ΔI = variation du courant primaire (A)

Pour les mesures ultérieures de l'induction magnétique, l'enroulement secondaire de l'inductance mutuelle est court-circuité et la résistance en série avec l'intégrateur est ajustée en conséquence.

A2. Méthode par décharge de condensateur étalon

L'intégrateur de flux que l'on veut étalonner est connecté selon le circuit de la figure 5, page 42, comprenant:

- un potentiomètre ou un voltmètre de grande précision V ;
- le condensateur étalon de valeur C ;
- la résistance de shunt de valeur S ;
- la résistance de réglage de valeur r ;
- l'enroulement secondaire N_2 de résistance R ;
- l'inverseur à deux positions (a: charge; b: décharge);
- une pile E ;
- l'intégrateur de flux de résistance interne R_f ;
- l'enroulement primaire N_1 .