

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60404-10

Première édition
First edition
1988-08

Matériaux magnétiques

Dixième partie:

Méthodes de mesure des propriétés magnétiques
à fréquences moyennes des tôles et feuillets
magnétiques en acier

Magnetic materials

Part 10:

Methods of measurement of magnetic properties of
magnetic steel sheet and strip at medium frequencies



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60404-10: 1988

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

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* (VEI).

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 60000 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
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60404-10

Première édition
First edition
1988-08

Matériaux magnétiques

Dixième partie:

Méthodes de mesure des propriétés magnétiques
à fréquences moyennes des tôles et feuillards
magnétiques en acier

Magnetic materials

Part 10:

Methods of measurement of magnetic properties of
magnetic steel sheet and strip at medium frequencies

© IEC 1988 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

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch 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
INTRODUCTION	8
Articles	
1. Domaine d'application et objet	8
2. Précision et reproductibilité	8
 CHAPITRE I: CONDITIONS GÉNÉRALES DE MESURE EN COURANT ALTERNATIF AU MOYEN DU CADRE D'EPSTEIN DE 25 CM	
3. Objet	10
4. Domaine d'application	10
5. Principe de la méthode du cadre d'Epstein de 25 cm	10
6. Eprouvettes	10
7. Cadre d'Epstein de 25 cm	12
8. Compensation du flux dans l'air	16
9. Source d'alimentation	16
 CHAPITRE II: DÉTERMINATION DES PERTES TOTALES SPÉCIFIQUES SELON LA MÉTHODE DU WATTMÈTRE	
10. Objet	18
11. Domaine d'application	18
12. Principe de la mesure	18
13. Appareillage	20
13.1 Mesure de la tension	20
13.2 Mesure du courant	20
13.3 Mesure de la fréquence	20
13.4 Mesure de la puissance	20
14. Mode opératoire	20
14.1 Préparation de la mesure	20
14.2 Réglage de la source	22
14.3 Mesures	22
15. Détermination des pertes totales spécifiques	22
16. Reproductibilité	24

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
INTRODUCTION	9
Clause	
1. Field and scope of application	9
2. Accuracy and reproducibility	9
 CHAPTER I: GENERAL CONDITIONS FOR A.C. MEASUREMENTS MADE WITH THE 25 CM EPSTEIN FRAME	
3. Scope	11
4. Field of application	11
5. Principle of the 25 cm Epstein frame method	11
6. Test specimen	11
7. 25 cm Epstein frame	13
8. Air flux compensation	17
9. Power supply	17
 CHAPTER II: DETERMINATION OF SPECIFIC TOTAL LOSSES BY THE WATTMETER METHOD	
10. Scope	19
11. Field of application	19
12. Principle of measurement	19
13. Apparatus	21
13.1 Voltage measurement	21
13.2 Current measurement	21
13.3 Frequency measurement	21
13.4 Power measurement	21
14. Measuring procedure	21
14.1 Preparation for measurement	21
14.2 Source setting	23
14.3 Measurements	23
15. Determination of specific total losses	23
16. Reproducibility	25

CHAPITRE III: DÉTERMINATION DE L'INTENSITÉ DE CHAMP MAGNÉTIQUE, DU COURANT MAGNÉTISANT ET DE LA PUISSANCE APPARENTE SPÉCIFIQUE

Articles	Pages
17. Objet	26
18. Principe de la mesure	26
18.1 Valeur de crête de la polarisation $\hat{J}$	26
18.2 Valeur efficace de l'intensité du courant magnétisant	26
18.3 Valeur de crête de l'intensité de champ magnétique	26
19. Appareillage	28
19.1 Mesure de la tension moyenne redressée	28
19.2 Mesure du courant	30
19.3 Mesure du courant de crête	30
19.4 Résistance R_n	30
19.5 Inductance mutuelle M	30
20. Mode opératoire	30
20.1 Préparation de la mesure	30
20.2 Mesure	30
21. Détermination des caractéristiques	32
21.1 Détermination de $\hat{J}$	32
21.2 Détermination de $\tilde{H}$	32
21.3 Détermination de $\hat{H}$	32
21.4 Détermination de la puissance apparente spécifique S_s	34
22. Reproductibilité	36
ANNEXE A – Cadre d'Epstein pour utilisation à des fréquences moyennes	38

CHAPTER III: DETERMINATION OF MAGNETIC FIELD STRENGTH, EXCITATION CURRENT AND SPECIFIC APPARENT POWER

Clause	Page
17. Scope	27
18. Principle of measurement	27
18.1 Peak value of magnetic polarization $\hat{J}$	27
18.2 R.M.S. value of the excitation current	27
18.3 Peak value of magnetic field strength	27
19. Apparatus	29
19.1 Average rectified voltage measurement	29
19.2 Current measurement	31
19.3 Peak current measurement	31
19.4 Resistor R_n	31
19.5 Mutual inductor M	31
20. Measuring procedure	31
20.1 Preparation for measurement	31
20.2 Measurement	31
21. Determination of characteristics	33
21.1 Determination of $\hat{J}$	33
21.2 Determination of $\tilde{H}$	33
21.3 Determination of $\hat{H}$	33
21.4 Determination of the specific apparent power S_s	35
22. Reproducibility	37
APPENDIX A – Epstein frame for use at medium frequencies	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

**Dixième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques
à fréquences moyennes
des tôles et feuillards magnétiques en acier**

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.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote	Procédure des Deux mois	Rapport de vote
68(BC)52	68(BC)56	68(BC)58	68(BC)61

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

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

Publications n°s 50(901) (1973): Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), Chapitre 901: Magnétisme.
404: Matériaux magnétiques.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS**Part 10: Methods of measurement of magnetic properties
of magnetic steel sheet and strip
at medium frequencies**

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	Two Months' Procedure	Report on Voting
68(CO)52	68(CO)56	68(CO)58	68(CO)61

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

The following IEC publications are quoted in this standard:

Publications Nos. 50(901) (1973): International Electrotechnical Vocabulary (IEV), Chapter 901; Magnetism.
404: Magnetic materials.

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

Dixième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques à fréquences moyennes des tôles et feuillets magnétiques en acier

INTRODUCTION

1. Domaine d'application et objet

La présente norme est applicable aux tôles et feuillets magnétiques en acier destinés à la construction des circuits magnétiques utilisés aux fréquences comprises entre 400 Hz et 10 000 Hz.

Elle a pour objet de définir la terminologie et de spécifier les méthodes de mesure des propriétés magnétiques des tôles et feuillets magnétiques en acier.

2. Précision et reproductibilité

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

Par ailleurs, pour une méthode donnée, l'expérience indique la reproductibilité qui peut être prévue. Chaque fois que le Comité d'Etudes ayant établi le projet a retenu des valeurs concernant la reproductibilité, ces dernières ont été indiquées dans cette norme.

MAGNETIC MATERIALS

Part 10: Methods of measurement of magnetic properties of magnetic steel sheet and strip at medium frequencies

INTRODUCTION

1. Field and scope of application

This standard is applicable to magnetic steel sheet and strip for the construction of magnetic circuits for use in the frequency range 400 Hz to 10 000 Hz.

Its object is to define the terminology and to specify the methods for the measurement of magnetic properties of magnetic steel sheet and strip.

2. Accuracy and reproducibility

The final accuracy of the test apparatus is a complex function dependent on the measuring instruments and other features of the measuring environment and equipment components; therefore it is not always possible to state the absolute accuracy which can be attained.

Moreover, experience in the use of a given method indicates the reproducibility which can be expected. Whenever the drafting Technical Committee has agreed upon reproducibility values, these have been given in this standard.

CHAPITRE I: CONDITIONS GÉNÉRALES DE MESURE EN COURANT ALTERNATIF AU MOYEN DU CADRE D'EPSTEIN DE 25 CM

3. Objet

Ce chapitre a pour objet la définition des conditions générales se rapportant à la détermination des propriétés magnétiques des tôles et feuillets magnétiques en acier, en courant alternatif, à l'aide du cadre d'Epstein de 25 cm.

4. Domaine d'application

L'emploi du cadre d'Epstein de 25 cm s'applique aux bandes éprouvettes plates obtenues à partir des tôles et feuillets magnétiques, quelle que soit leur qualité. Les propriétés magnétiques sont déterminées pour une tension induite sinusoïdale.

Les mesures sont effectuées à la température ambiante de 23 ± 5 °C sur des éprouvettes ayant été préalablement désaimantées.

5. Principe de la méthode du cadre d'Epstein de 25 cm

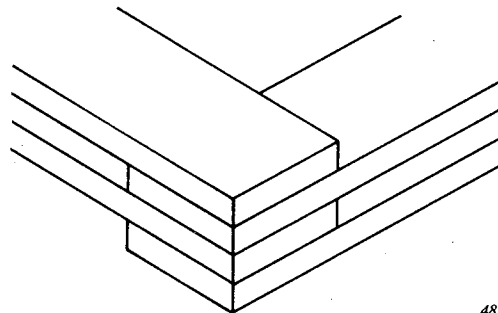
Le cadre d'Epstein de 25 cm, comprenant un enroulement primaire, un enroulement secondaire et l'éprouvette à essayer comme noyau, forme un transformateur à vide dont les propriétés sont mesurées par les méthodes décrites dans les chapitres suivants.

A l'extrémité supérieure du domaine de fréquences, un cadre d'Epstein construit spécialement (voir annexe A), dans lequel les capacités entre enroulements sont faibles et le matériau du mandrin des solénoïdes à une faible perte diélectrique, peut être requis.

Un système séparé de mesure (par exemple un pont universel disponible dans le commerce et capable de mesurer la résistance, la capacitance et l'inductance) est requis pour déterminer la capacité entre les enroulements du cadre d'Epstein.

6. Eprouvettes

Le circuit magnétique doit être constitué par un noyau fait avec les bandes à essayer, assemblées en carré avec joint à double recouvrement (voir figure 1) et formant quatre branches d'égale longueur et d'égale section.



483/78

FIG. 1. – Joint à double recouvrement.

CHAPTER I: GENERAL CONDITIONS FOR A.C. MEASUREMENTS MADE WITH THE 25 CM EPSTEIN FRAME

3. Scope

This chapter specifies the general conditions for the determination of a.c. magnetic properties of magnetic steel sheet and strip by means of the 25 cm Epstein frame.

4. Field of application

The use of the 25 cm Epstein frame is applicable to flat strip specimens obtained from magnetic sheets and strips of any quality. The magnetic properties are determined for a sinusoidal induced voltage.

The measurements are made at an ambient temperature of 23 ± 5 °C on test specimens which have first been demagnetized.

5. Principle of the 25 cm Epstein frame method

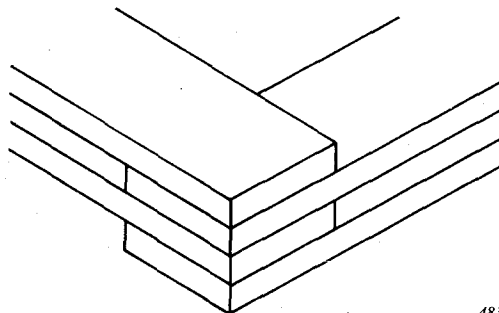
The 25 cm Epstein frame, which comprises a primary winding, a secondary winding and the specimen to be tested as a core, forms an unloaded transformer whose properties are measured by the methods described in the following chapters.

At the higher end of the frequency range a specially constructed Epstein frame (see Appendix A) may be required in which the interwinding capacitances are low and the material of the winding formers supporting the solenoids has a low dielectric loss.

A separate measuring system (for example a commercially available universal bridge capable of measuring resistance, capacitance and inductance) is required to determine the interwinding capacitance of the Epstein frame.

6. Test specimen

The magnetic circuit shall be made up of a core constructed with the strips to be tested, assembled in a square having double-lapped joints (see Figure 1) to form four branches of equal length and equal cross-sectional area.



483/78

FIG. 1. – Double-lapped joints.

Les bandes doivent être prélevées suivant les prescriptions de la norme de produit. Elles doivent être découpées par un procédé permettant l'obtention d'une coupe franche et sans bavures. Elles doivent avoir les dimensions suivantes:

- largeur $b = 30 \pm 0,2$ mm;
- longueur l telle que $280 \text{ mm} \leq l \leq 500 \text{ mm}$, les bandes ont une même longueur mesurée avec une tolérance de $\pm 0,5$ mm.

Dans le cas d'éprouvettes de longueur supérieure à 305 mm, des précautions doivent être prises pour éviter le fléchissement des bandes pendant l'essai.

Lors du découpage des bandes parallèlement ou perpendiculairement à la direction de laminage, la rive de la tôle mère doit être prise comme référence de cette direction.

Les tolérances suivantes pour l'angle entre la direction de laminage et celle de découpage doivent être respectées:

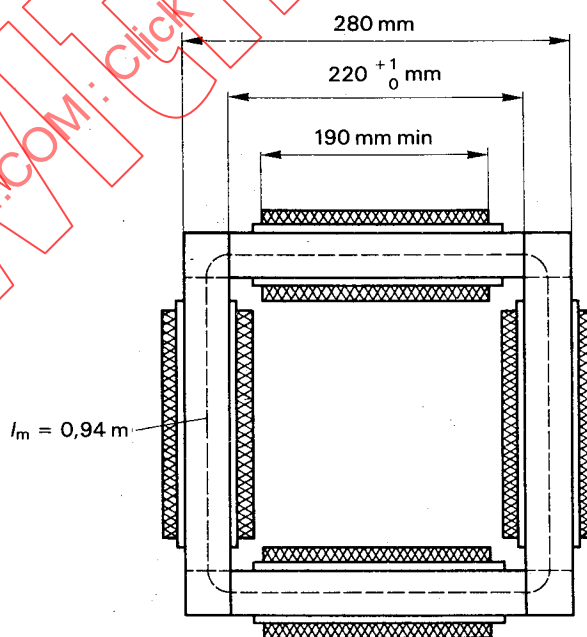
- $\pm 1^\circ$ pour les tôles à grains orientés;
- $\pm 5^\circ$ pour les tôles à grains non orientés.

On ne doit utiliser que des bandes planes. Les mesures doivent être faites sans isolation supplémentaire.

Le nombre de bandes constituant l'éprouvette doit être au moins égal à douze et doit être un multiple de quatre. Une force de $1 \pm 0,1$ N doit être appliquée sur chaque coin, perpendiculairement au plan des bandes se recouvrant.

7. Cadre d'Epstein de 25 cm

Le cadre d'Epstein de 25 cm (appelé dans ce qui suit «cadre d'Epstein») se compose de quatre solénoïdes dans lesquels sont introduites les bandes constituant l'éprouvette, de façon à former un circuit magnétique fermé (voir figure 2).



262/88

FIG. 2. – Cadre d'Epstein de 25 cm.

The strips shall be sampled in accordance with the product standard. They shall be cut by a method which will produce clean burr-free edges. They shall have the following dimensions:

- width $b = 30 \pm 0.2$ mm;
- length $280 \text{ mm} \leq l \leq 500 \text{ mm}$, the strips being of the same length within a tolerance of ± 0.5 mm.

For strips of length greater than 305 mm, care shall be taken to avoid bending the strips during the test.

When the strips are cut parallel or normal to the direction of rolling, the edge of the parent sheet shall be taken as the reference direction.

The following tolerances shall be allowed for the angle between the direction of rolling and that of cutting:

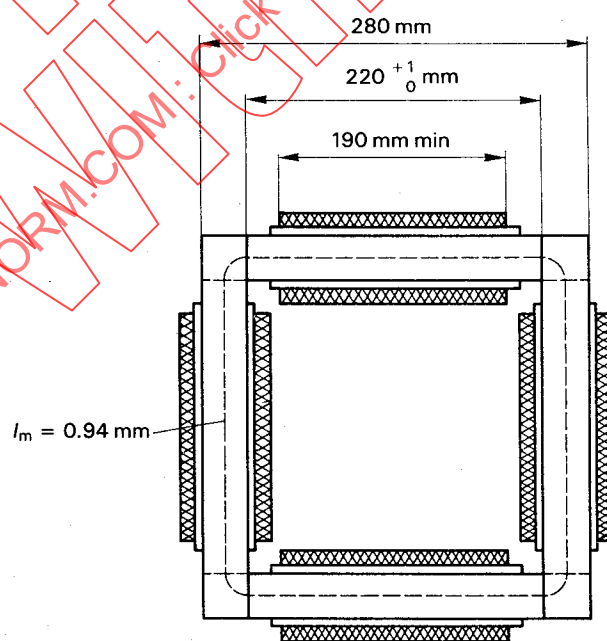
- $\pm 1^\circ$ for grain-oriented steel sheet;
- $\pm 5^\circ$ for non-oriented steel sheet.

Only flat strips shall be used. Measurements shall be made without additional insulation.

The number of strips forming a test specimen shall be not less than twelve and shall be a multiple of four. A force of 1 ± 0.1 N shall be applied to each corner, normal to the plane of the overlapping strips.

7. 25 cm Epstein frame

The 25 cm Epstein frame (hereafter referred to as the “Epstein frame”) shall consist of four solenoids into which the test specimen strips are introduced in such a manner that a closed magnetic circuit is formed (see Figure 2).



262/88

FIG. 2. – 25 cm Epstein frame.

Une inductance mutuelle doit être prévue pour la compensation du flux dans l'air dans le cas de mesures devant être effectuées dans les conditions de l'article 8.

Les mandrins des solénoïdes doivent être fabriqués en matière dure et isolante à faibles pertes diélectriques telle que le polystyrène et avoir une section rectangulaire et une largeur intérieure de 32 mm. Une hauteur de l'ordre de 5 mm suffit et est recommandée.

Les solénoïdes doivent être fixés sur un support isolant et non magnétique de façon à former un cadre carré. La longueur des côtés du carré intérieur constitué par les bandes éprouvettes doit être de 220^{+1}_0 mm (figure 2).

En vue d'éviter une usure trop rapide des mandrins et, en particulier, de leurs flancs internes, on peut utiliser des mandrins de section plus grande, dans lesquels peuvent être glissés des manchons remplaçables de dimensions appropriées.

Chaque solénoïde comprend deux enroulements:

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

Les enroulements doivent être répartis uniformément sur une longueur au moins égale à 190 mm, chaque solénoïde comportant le quart du nombre total de spires. Les enroulements individuels primaires des quatre solénoïdes doivent être reliés en série, de même que les enroulements individuels secondaires.

Aux fréquences élevées, les pertes dues à la capacité entre les enroulements primaire et secondaire ainsi qu'à la capacité propre de l'enroulement secondaire peuvent être notables. Les enroulements doivent être disposés de façon à minimiser ces pertes.

La capacité entre les enroulements et la capacité propre à l'enroulement secondaire doivent être mesurées. Si nécessaire, une correction doit être appliquée pour les pertes introduites.

On doit choisir le nombre de spires des enroulements primaire et secondaire en fonction des conditions particulières de la source d'alimentation, de l'appareillage et de la fréquence de mesure.

Un nombre total de 200 spires pour chacun des enroulements primaire et secondaire est recommandé et est usuellement utilisé pour les essais dans le domaine de fréquences compris entre 400 Hz et 10 000 Hz.

L'impédance des enroulements doit être suffisamment petite pour éviter une déformation de la forme d'onde et minimiser les chutes internes de tension.

La longueur effective l_m du circuit magnétique obtenue avec ce dispositif d'essai est prise conventionnellement égale à 0,94 m. Cette valeur doit être utilisée.

En conséquence, la masse active, c'est-à-dire la masse de l'éprouvette qui est active magnétiquement, est donnée par l'équation:

$$m_a = \frac{l_m}{4l} \cdot m \quad (1)$$

où:

m_a = masse active de l'éprouvette, en kilogrammes

m = masse de l'éprouvette, en kilogrammes

l_m = longueur conventionnelle active du circuit magnétique, en mètres

l = longueur d'une bande éprouvette, en mètres

If measurements are to be made under the conditions specified in Clause 8, a mutual inductor shall be provided for air flux compensation.

The winding formers supporting the solenoids shall be made of hard insulating material of low dielectric loss, such as polystyrene, and have a rectangular cross-section and an inner width of 32 mm. A height of about 5 mm will be sufficient and is recommended.

The solenoids shall be mounted on a non-conducting and non-magnetic base plate in a square arrangement. Each side of the inner square formed by the test specimen strip shall have a length of 220^{+1}_0 mm (Figure 2).

In order to avoid undue wear of the winding formers and especially of their inner surfaces, winding formers of larger cross-section can be used into which replaceable liners of appropriate dimensions may be inserted.

Each solenoid comprises two windings:

- a primary winding (magnetizing winding);
- a secondary winding (voltage winding).

The windings on each solenoid shall be evenly distributed over a length of at least 190 mm, with each solenoid carrying one-fourth of the total number of turns. The individual primary windings of the four solenoids shall be connected in series, and the secondary individual windings shall be connected in a similar fashion.

At high frequencies, the loss due to the capacitance between the primary and secondary windings and also the self-capacitance of the secondary winding could be significant. The windings shall be spaced to minimize this loss.

The capacitance between the windings and the self-capacitance of the secondary winding shall be measured. If necessary, a correction shall be applied for the loss introduced.

The number of turns of the primary and secondary windings shall be chosen to suit the particular conditions of the power supply, instrumentation and measuring frequency.

A total of 200 turns for each of the primary and secondary windings is recommended and is commonly used for tests in the frequency range 400 Hz to 10 000 Hz.

The impedance of the windings shall be sufficiently small to avoid waveform distortion and minimize internal voltage drops.

The effective length l_m of the magnetic path in this test equipment is conventionally taken as 0.94 m. This value shall be used.

Consequently, the effective mass, i.e. the magnetically active mass of the test specimen, is given by the equation:

$$m_a = \frac{l_m}{4l} \cdot m \quad (1)$$

where:

m_a = effective mass of test specimen, in kilogrammes

m = mass of test specimen, in kilogrammes

l_m = conventional effective magnetic path length, in metres

l = length of a test specimen strip, in metres

8. Compensation du flux dans l'air

Une correction pour le flux dans l'air doit être effectuée pour les intensités de champ supérieures ou égales à 1000 A/m. Pour les faibles fréquences (inférieures ou égales à 1000 Hz), une inductance mutuelle peut être utilisée pour la compensation du flux dans l'air.

L'inductance mutuelle de compensation doit être réglée et rendue égale à celle des enroulements du cadre d'Epstein vide. Lorsque les enroulements sont connectés comme il convient, la tension induite par le courant primaire dans l'enroulement secondaire de l'inductance mutuelle compense la tension induite par le flux attribué au courant primaire dans l'enroulement secondaire du cadre d'Epstein vide.

9. Source d'alimentation

La source doit avoir une faible impédance interne et une excellente stabilité en tension et en fréquence. Pendant les mesures, les variations de tension et de fréquence ne doivent pas dépasser $\pm 0,2\%$ de leur valeur spécifiée. Le facteur de forme de la tension secondaire induite doit être maintenu égal à $1,111 \pm 1\%$ (cela peut être obtenu de diverses manières: par exemple à l'aide d'une source d'alimentation électronique asservie).

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

Note. – Lorsqu'une source d'alimentation électrique asservie est employée, 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 la forme d'onde de la fréquence fondamentale est bien produite.

8. Air flux compensation

A correction for air flux shall be made for field strengths greater than or equal to 1000 A/m. For low frequencies (less than or equal to 1000 Hz) a mutual inductor may be used to compensate for the air flux.

The mutual inductance of the compensator shall be adjusted to be the same as that of the windings of the empty Epstein frame. Thus when the windings are properly connected, the voltage induced in the secondary winding of the mutual inductor by the primary current compensates for the voltage induced in the secondary winding of the empty Epstein frame by the flux attributed to the primary current.

9. Power supply

The source 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. The form factor of the secondary induced voltage shall be maintained within $\pm 1\%$ of 1.111 (this can be achieved by various means, e.g. electronic feedback amplifiers).

The form factor of the secondary voltage is the quotient of the r.m.s. value and 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-type 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 waveform of the fundamental frequency is being produced.

CHAPITRE II: DÉTERMINATION DES PERTES TOTALES SPÉCIFIQUES SELON LA MÉTHODE DU WATTMÈTRE

10. Objet

Ce chapitre a pour objet la définition de la méthode du wattmètre pour la détermination des pertes totales spécifiques des tôles et feuillets magnétiques en acier, à des fréquences comprises entre 400 Hz et 10 000 Hz.

11. Domaine d'application

Les pertes totales spécifiques sont déterminées, selon cette méthode, pour des valeurs de crête spécifiées de la polarisation magnétique et pour une fréquence spécifiée.

Afin d'obtenir des résultats comparables, les valeurs d'essai doivent se rapporter à une polarisation magnétique de forme d'onde sinusoïdale.

Note. – Dans cette publication, le terme «polarisation magnétique» est employé comme il est défini au chapitre 901 du Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) [Publication 50(901) de la CEI]. Dans certaines publications de la série 404 de la CEI, le terme «induction magnétique» a été utilisé.

12. Principe de la mesure

Le cadre d'Epstein de 25 cm contenant l'éprouvette constitue un transformateur fonctionnant à vide dont les pertes totales sont mesurées par la méthode du wattmètre selon le schéma de principe de la figure 3.

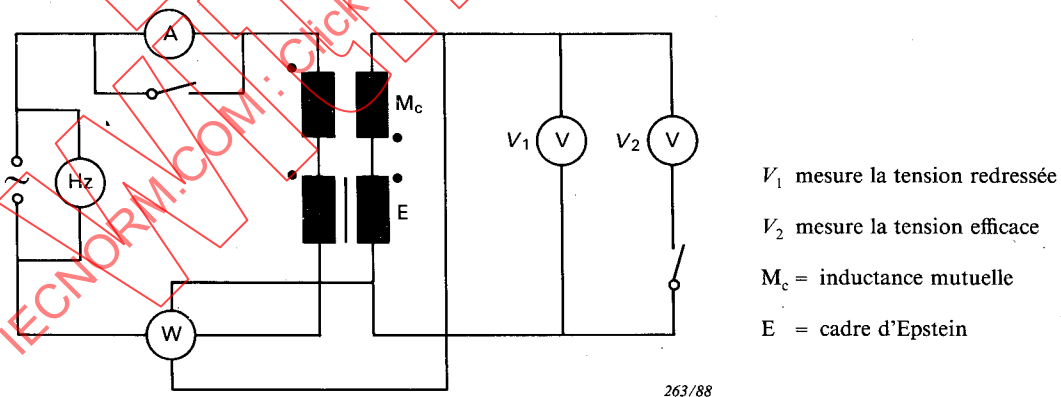


FIG. 3. — Schéma de principe pour la méthode du wattmètre.

CHAPTER II: DETERMINATION OF SPECIFIC TOTAL LOSSES BY THE WATTMETER METHOD

10. Scope

This chapter describes the wattmeter method for the determination of the specific total losses of magnetic steel sheet and strip at frequencies in the range 400 Hz to 10 000 Hz.

11. Field of application

The specific total losses are determined, according to this method, for specified peak values of magnetic polarization and for a specified frequency.

In order to obtain comparable results, test values shall be referred to magnetic polarization of sinusoidal waveform.

Note. – Throughout this publication the term “magnetic polarization” is used as defined in Chapter 901 of the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) [IEC Publication 50(901)]. In some publications of the IEC 404 series, the term “magnetic flux density” has been used.

12. Principle of measurement

The 25 cm Epstein frame with the test specimen represents an unloaded transformer whose total losses are measured by the wattmeter method in the circuit shown in Figure 3 which illustrates the principle.

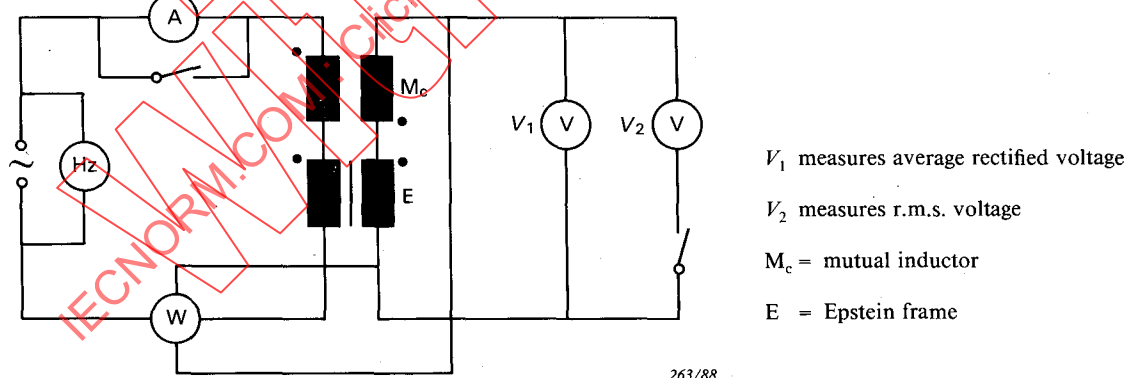


FIG. 3. – Circuit for the wattmeter method.

13. Appareillage

13.1 *Mesure de la tension*

13.1.1 Voltmètre de valeur moyenne

La valeur moyenne de la tension secondaire du cadre d'Epstein doit être mesurée à l'aide d'un voltmètre de valeur moyenne redressée de précision 0,5% ou meilleure (par exemple un voltmètre digital).

Note. – Les appareils de ce type sont généralement gradués en valeur moyenne 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 redressée doit être au moins égale à 1 000 Ω/V .

13.1.2 Voltmètre de valeur efficace

Un voltmètre de valeur efficace de précision 0,5% ou meilleure doit être utilisé, par exemple un voltmètre digital.

13.2 *Mesure du courant*

Le courant primaire doit être mesuré:

- soit au moyen d'un ampèremètre de faible impédance de classe 1 ou meilleure;
- soit par mesure de la chute de tension dans une résistance de précision non inductive reliée en série avec l'enroulement primaire. L'erreur combinée de la résistance et du voltmètre ne doit pas dépasser 1 %.

L'ampèremètre et la résistance de précision, respectivement, doivent être court-circuités pour le réglage de la tension secondaire et la mesure des pertes.

13.3 *Mesure de la fréquence*

Utiliser un fréquencemètre de précision 0,2% ou meilleure.

13.4 *Mesure de la puissance*

La puissance doit être mesurée au moyen d'un wattmètre de précision 0,5% ou meilleure, à la fréquence, avec le facteur de puissance et le facteur de crête à utiliser. 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.

De plus, la résistance du circuit de tension doit être au moins égale à 5 000 fois sa réactance, à moins que le wattmètre ne soit compensé pour celle-ci, afin d'éviter les corrections d'angle de phase.

14. Mode opératoire

14.1 *Préparation de la mesure*

L'éprouvette doit être pesée et sa masse déterminée avec une approximation meilleure que $\pm 0,1\%$. Après pesée, les bandes doivent être introduites dans les solénoïdes du cadre d'Epstein et empilées de façon à former des joints à double recouvrement. Dans le cas de bandes découpées,

13. Apparatus

13.1 Voltage measurement

13.1.1 Average type voltmeter

The average value of the secondary rectified voltage of the Epstein frame shall be measured with an average type voltmeter of accuracy 0.5% or better, e.g. a rectifier type digital voltmeter.

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

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 1 000 Ω/V .

13.1.2 R.M.S. voltmeter

A voltmeter of accuracy 0.5% or better, responsive to r.m.s. values, shall be used, e.g. a r.m.s. sensing digital voltmeter.

13.2 Current measurement

The primary current may be measured by either:

- a class 1 ammeter or better of low impedance; or
- measuring the voltage drop across a non-inductive precision resistor connected in series with the primary winding. The combined uncertainties of the resistor and the voltmeter shall not exceed 1%.

The ammeter and the precision resistor, respectively, shall be short-circuited when the secondary voltage is adjusted and the losses are measured.

13.3 Frequency measurement

A frequency meter of accuracy 0.2% or better shall be used.

13.4 Power measurement

The power shall be measured by a wattmeter of accuracy 0.5% or better at the frequency, power factor, and crest factor to be used. 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.

Moreover, the ohmic resistance of the voltage circuit shall be at least 5 000 times the reactance, unless the wattmeter is compensated for the latter, to avoid corrections of phase angle.

14. Measuring procedure

14.1 Preparation for measurement

The test specimen shall be weighed and its mass determined within $\pm 0.1\%$. After weighing, the strips shall be loaded into the solenoids of the Epstein frame with double-lapped joints at the corners. In the case of strips which are cut half in the direction of rolling and half normal to that

moitié dans le sens parallèle à l'axe de laminage et moitié perpendiculairement à ce sens, on doit veiller à ce que les bandes découpées dans le sens du laminage soient toutes placées dans deux branches opposées du cadre et celles découpées perpendiculairement à ce sens dans les deux autres branches opposées. Les joints doivent former un entrefer minimal entre les bandes. Les bandes doivent être disposées conformément aux prescriptions de l'article 7. Le nombre de bandes doit être le même dans chaque solénoïde.

Avant la mesure, l'éprouvette doit être désaimantée par application d'un champ magnétique alternatif décroissant.

14.2 Réglage de la source

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

$$|\overline{U}_2| = 4f N_2 \left(\frac{R_i}{R_i + R_1} \right) A \hat{J} \quad (2)$$

où:

$|\overline{U}_2|$ = valeur moyenne redressée de la tension secondaire, en volts

f = fréquence, en hertz

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

R_1 = somme des résistances des enroulements secondaires du cadre d'Epstein et de l'inductance mutuelle, en ohms

N_2 = nombre de spires de l'enroulement secondaire

A = section de l'éprouvette, en mètres carrés

$\hat{J}$ = valeur de crête de la polarisation, en teslas

La section A est donnée par l'équation:

$$A = \frac{m}{4l\rho_m} \quad (3)$$

où:

m = masse de l'éprouvette, en kilogrammes

l = longueur d'une bande éprouvette, en mètres

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

14.3 Mesures

Le courant primaire doit être lu à l'ampèremètre pour vérifier que le circuit de courant du wattmètre n'est pas surchargé. Ensuite, l'ampèremètre doit être court-circuité et la tension secondaire réglée à nouveau. Après contrôle de la forme d'onde du circuit secondaire, conformément à l'article 9, on doit procéder à la lecture du wattmètre.

Note. – Pour éviter l'échauffement de l'éprouvette et faciliter la reproductibilité, il convient que les mesures soient faites aussi vite que possible après mise sous tension du cadre d'Epstein. L'éprouvette devra pouvoir se refroidir entre les lectures.

15. 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 $(1,111 |\overline{U}_2|)^2 / R_i$, puisque la tension secondaire est essentiellement sinusoïdale.

direction, care shall be taken that all the strips cut in the direction of rolling are placed in two opposite arms of the frame and that those cut normal to that direction are placed in the two other opposite arms. The joints shall form a minimum gap between the strips. The strips shall be positioned so as to conform with the requirements of Clause 7. The number of strips shall be the same in each solenoid.

Before measurement, the test specimen shall be demagnetized by a decreasing alternating magnetic field.

14.2 Source setting

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

$$|\overline{U}_2| = 4fN_2 \left(\frac{R_i}{R_i + R_t} \right) A \hat{J} \quad (2)$$

where:

$|\overline{U}_2|$ = average value of secondary rectified voltage, in volts

f = frequency, in hertz

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

R_t = series resistance of the secondary windings of Epstein frame and mutual inductor, in ohms

N_2 = number of turns of the secondary winding

A = cross-section of test specimen, in square metres

$\hat{J}$ = peak value of magnetic polarization, in teslas

The cross-section A is obtained by the equation:

$$A = \frac{m}{4l\rho_m} \quad (3)$$

where:

m = mass of test specimen, in kilogrammes

l = length of a test specimen strip, in metres

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

14.3 Measurements

The ammeter in the primary circuit shall be observed to ensure 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 in compliance with Clause 9, the wattmeter shall be read.

Note. – To avoid undue heating of the test specimen and to facilitate reproducibility, measurements should be made as quickly as possible after energizing the Epstein frame. The specimen should be allowed to cool between readings.

15. Determination of specific total losses

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 $(1.111 |\overline{U}_2|)^2/R_i$ since the secondary voltage is essentially sinusoidal.

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

$$P_c = \frac{N_1}{N_2} \cdot P_m - \frac{(1,111 \overline{|U_2|})^2}{R_i} \quad (4)$$

où:

P_c = pertes totales calculées de l'éprouvette, en watts

P_m = puissance mesurée par le wattmètre, en watts

N_1 = nombre de spires de l'enroulement primaire

N_2 = nombre de spires de l'enroulement secondaire

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

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

Les pertes totales spécifiques P_s doivent être obtenues en divisant P_c par la masse active de l'éprouvette (article 7).

$$P_s = \frac{P_c}{m_a} = \frac{P_c \cdot 4l}{m \cdot l_m} \quad (5)$$

où:

P_s = pertes totales spécifiques de l'éprouvette, en watts par kilogramme (éventuellement corrigées pour la distorsion de forme d'onde du flux, selon l'article 9)

m = masse de l'éprouvette, en kilogrammes

m_a = masse active de l'éprouvette, en kilogrammes

l = longueur d'une éprouvette, en mètres

l_m = longueur conventionnelle effective du circuit magnétique, en mètres ($l_m = 0,94 \text{ m}$)

16. Reproductibilité

La reproductibilité des résultats obtenus selon cette méthode de mesure est caractérisée par un écart type relatif compris entre 2% et 5%, la valeur de cet écart type dépendant de la fréquence et de la polarisation utilisées.

Thus, the total losses P_c of the test specimen shall be calculated from the equation:

$$P_c = \frac{N_1}{N_2} \cdot P_m - \frac{(1.111 \overline{|U_2|})^2}{R_i} \quad (4)$$

where:

P_c = calculated total losses of test specimen, in watts

P_m = power measured by the wattmeter, in watts

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, in ohms

$\overline{|U_2|}$ = average value of secondary rectified voltage, in volts

The specific total losses P_s shall be obtained by dividing P_c by the effective mass of the test specimen (Clause 7).

$$P_s = \frac{P_c}{m_a} = \frac{P_c \cdot 4l}{m \cdot l_m} \quad (5)$$

where:

P_s = specific total losses of test specimen, in watts per kilogramme (corrected if necessary for flux waveform distortion according to Clause 9)

m = mass of test specimen, in kilogrammes

m_a = effective mass of test specimen, in kilogrammes

l = length of a test specimen, in metres

l_m = conventional effective magnetic path length, in metres ($l_m = 0.94 m$)

16. Reproducibility

The reproducibility of the results obtained from this method is characterized by a relative standard deviation in the range between 2% and 5%, the value of this standard deviation depending on the frequency and the magnetic polarization which are used.

CHAPITRE III: DÉTERMINATION DE L'INTENSITÉ DE CHAMP MAGNÉTIQUE, DU COURANT MAGNÉTISANT ET DE LA PUISSANCE APPARENTE SPÉCIFIQUE

17. Objet

Ce chapitre a pour objet la définition des méthodes de mesure à adopter pour la détermination des grandeurs suivantes:

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

Les grandeurs déterminées selon les méthodes suivantes se rapportent aux valeurs de crête spécifiées de la polarisation et pour des fréquences spécifiées.

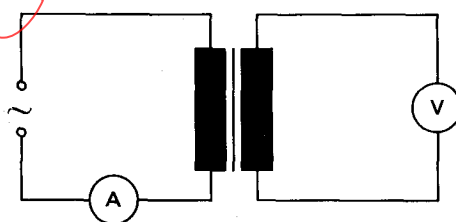
18. Principe de la mesure

18.1 Valeur de crête de la polarisation $\hat{J}$

La valeur de crête de la polarisation $\hat{J}$ doit être déterminée à partir de la valeur moyenne de la tension secondaire redressée, mesurée comme décrit au paragraphe 13.1 et avec la formule (2) du paragraphe 14.2.

18.2 Valeur efficace de l'intensité du courant magnétisant

La valeur efficace de l'intensité du courant magnétisant doit être mesurée à l'aide d'un ampèremètre de valeur efficace placé dans le circuit comme indiqué à la figure 4.



488/78

FIG. 4. – Schéma de mesure de la valeur efficace de l'intensité du courant magnétisant.

18.3 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, mesurée par l'une des méthodes suivantes:

CHAPTER III: DETERMINATION OF MAGNETIC FIELD STRENGTH, EXCITATION CURRENT AND SPECIFIC APPARENT POWER

17. Scope

This chapter describes measuring methods for the determination of the following quantities:

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

The quantities, determined according to these methods, relate to specified values of peak magnetic polarization and frequency.

18. Principle of measurement

18.1 Peak value of magnetic polarization $\hat{J}$

The peak value of magnetic polarization $\hat{J}$ shall be derived from the average value of the rectified secondary voltage measured as described in Sub-clause 13.1 and using Equation (2) in Sub-clause 14.2.

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

The r.m.s. value of the excitation current shall be measured by an r.m.s. ammeter in the circuit as shown in Figure 4.

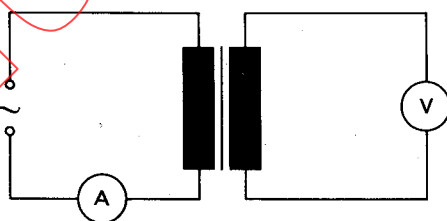


FIG. 4. – Circuit for measuring r.m.s. value of the excitation current.

18.3 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 measured by one of the following methods:

Méthode A

La valeur de crête $\hat{I}_1$ doit être déterminée en mesurant au moyen d'un voltmètre de valeur de crête la tension aux bornes d'une résistance de précision R_n de valeur connue comme indiqué à la figure 5.

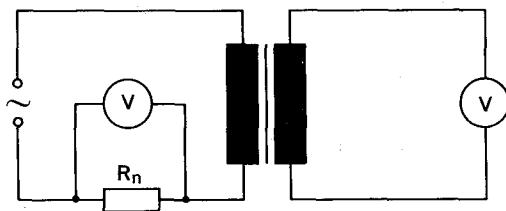
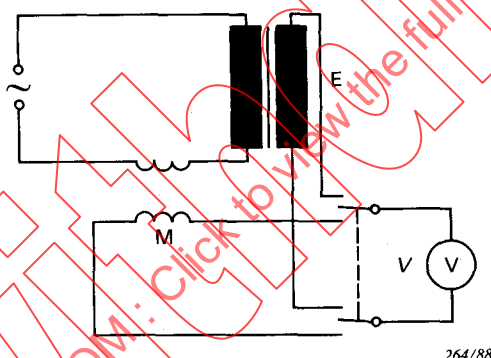


FIG. 5. – Schéma de mesure de la valeur de crête de l'intensité de champ magnétique au moyen d'un voltmètre de crête.

Méthode B

La valeur de crête $\hat{I}_1$ doit être déterminée en mesurant, au moyen d'un voltmètre de valeur moyenne, la tension apparaissant aux bornes de l'enroulement secondaire d'une inductance mutuelle dont l'enroulement primaire est parcouru par le courant magnétisant, comme indiqué à la figure 6.



V mesure la tension redressée

M = inductance mutuelle

E = cadre d'Epstein

FIG. 6. – Schéma de mesure de la valeur de crête de l'intensité de champ magnétique avec inductance mutuelle.

Note. – Dans ce cas, le voltmètre utilisé peut être le même que celui mesurant la tension secondaire du cadre d'Epstein, à moins que la tension ne s'annule plus de deux fois par cycle, et, dans ce cas, un voltmètre de valeur redressée à contrôle de phase doit être utilisé.

19. Appareillage

19.1 Mesure de la tension moyenne redressée

La valeur moyenne redressée de la tension secondaire du cadre d'Epstein et, dans le cas de la méthode B, de l'inductance mutuelle, doit être mesurée à l'aide d'un voltmètre de valeur moyenne de résistance interne au moins égale à 1 000 Ω/V . L'appareil utilisé doit être de précision 0,5% ou meilleure (voir paragraphe 13.1).

Method A

The peak value $\hat{I}_1$ shall be determined by measuring the voltage drop across a known precision resistor R_n using a peak voltmeter as shown in Figure 5.

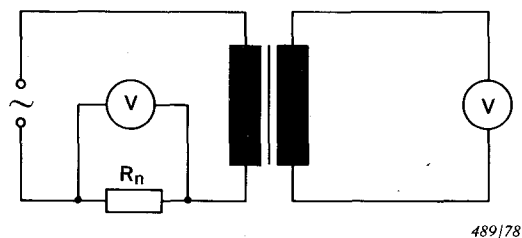


FIG. 5. – Circuit for measuring peak value of magnetic field strength using a peak voltmeter.

Method B

The peak value $\hat{I}_1$ shall 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 type voltmeter in accordance with the circuit given in Figure 6.

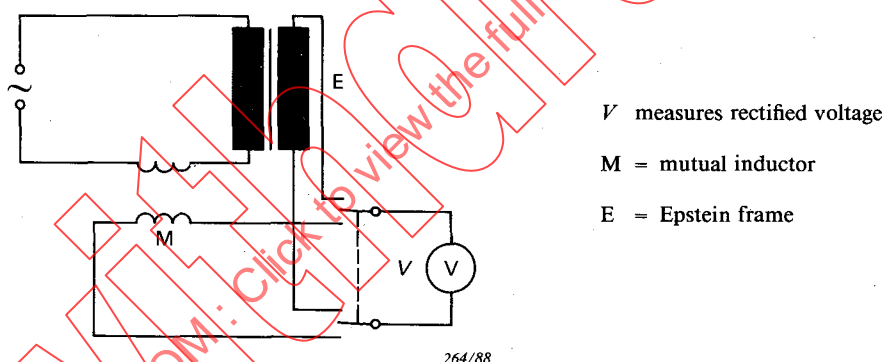


FIG. 6. – Circuit for measuring peak value of magnetic field strength using a mutual inductor.

Note. – In this case, the voltmeter can be the same instrument as is used for measuring the secondary voltage of the Epstein frame unless there are more than two zero crossings of the voltage per period, in which case a phase controlled rectifier voltmeter must be used.

19. Apparatus

19.1 Average rectified voltage measurement

To measure the average rectified value of the secondary voltage of the Epstein frame and, in the case of Method B, of the mutual inductor, an average type voltmeter with at least 1 000 Ω/V internal resistance shall be used. The accuracy of the instrument used shall be of accuracy 0.5 % or better (see Sub-clause 13.1).

19.2 *Mesure du courant*

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

19.3 *Mesure du courant de crête*

La mesure de la tension de crête aux bornes de la résistance R_n , selon la méthode A, doit être exécutée soit au moyen d'un voltmètre électronique de haute sensibilité indiquant la valeur de crête, soit au moyen d'un oscillographe étalonné. L'erreur pour la déviation maximale de ces instruments doit avoir pour limites $\pm 3\%$ ou des limites plus sévères.

19.4 *Résistance R_n*

La méthode A exige une résistance étalonnée non inductive de valeur connue avec une approximation de $\pm 0,5\%$ ou meilleure.

Le choix de la valeur de cette résistance dépend de la sensibilité du voltmètre de valeur de crête. Elle ne doit pas dépasser $1\ \Omega$ si on utilise un cadre d'Epstein avec $N_1 = 200$ spires, afin de minimiser la distorsion de la forme d'onde de la tension induite.

19.5 *Inductance mutuelle M*

L'inductance mutuelle du circuit représenté à la figure 6 doit être étalonnée et sa valeur M connue avec une approximation de $\pm 0,5\%$ ou meilleure; l'impédance primaire de cette inductance doit être aussi faible que possible. Pour réduire les erreurs, l'impédance secondaire de l'inductance doit être faible par rapport à celle de l'appareil de mesure qui lui est relié.

Lors de l'étalonnage et de l'emploi de l'inductance, on doit veiller à ce que le flux de fuite du cadre d'Epstein ou de tout autre appareil n'apporte aucune perturbation dans les mesures.

20. **Mode opératoire**

20.1 *Préparation de la mesure*

Identique au paragraphe 14.1.

20.2 *Mesure*

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

Si l'intensité de champ magnétique est spécifiée et que la polarisation doit être déterminée, on doit régler le courant primaire à la valeur correspondant à l'intensité de champ magnétique spécifié (voir ci-dessous). La tension secondaire du cadre d'Epstein doit être ensuite lue au voltmètre de valeur moyenne (voir paragraphe 14.2).

Si, d'autre part, la polarisation est spécifiée et que l'intensité de champ magnétique doit être déterminée, la tension secondaire doit être réglée à sa valeur spécifiée conformément au paragraphe 14.2.

Pour la détermination de $\tilde{H}$, la valeur efficace du courant primaire doit être lue à l'ampèremètre.

19.2 *Current measurement*

The r.m.s. value of the primary current shall be measured either by means of an r.m.s. ammeter of low impedance of class 0.5 or better, or by using a precision resistor and r.m.s. electronic voltmeter.

19.3 *Peak current measurement*

The measurement of the peak voltage across resistor R_n according to method A shall be achieved either by means of an electronic voltmeter of high sensitivity indicating the peak value, or by means of a calibrated oscilloscope. The full-scale error of the device used shall be $\pm 3\%$ or better.

19.4 *Resistor R_n*

Method A requires a precision non-inductive resistor of a value known to within $\pm 0.5\%$.

The resistance value to be chosen depends upon the sensitivity of the peak voltmeter. It shall not exceed $1\ \Omega$ when using an Epstein frame with $N_1 = 200$ turns in order to minimize distortion of the induced voltage waveform.

19.5 *Mutual inductor M*

The mutual inductor of the circuit shown in Figure 6 shall be calibrated and its value M known to within $\pm 0.5\%$; the primary impedance of this inductor shall be as low as possible. To minimize errors, the secondary impedance of the inductor shall be low compared to that of the measuring instrument connected to it.

During calibration and use of the inductor, care shall be taken that measurements will not be affected by the leakage flux of the Epstein frame or other apparatus.

20. **Measuring procedure**

20.1 *Preparation for measurement*

As for Sub-clause 14.1.

20.2 *Measurement*

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

If the magnetic field strength is specified and magnetic polarization is to be determined, the primary current shall be set to give the relevant magnetic field strength (see below). Then the secondary voltage of the Epstein frame shall be read on the average type voltmeter (see Sub-clause 14.2).

Alternatively, if the magnetic polarization is specified and magnetic field strength is to be determined, the secondary voltage shall be set to its specified value as described in Sub-Clause 14.2.

For the determination of $\tilde{H}$, the r.m.s. value of the primary current shall be read on the ammeter.