

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 367-1D

1977

Quatrième complément à la Publication 367-1 (1971)

**Noyaux pour bobines d'inductance et transformateurs
destinés aux télécommunications**

Première partie: Méthodes de mesure

Fourth supplement to Publication 367-1 (1971)

Cores for inductors and transformers for telecommunications

Part 1: Measuring methods



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1-3, rue de Varembe

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

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

- **Bulletin de la CEI**
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

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

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

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

Revision of this publication

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

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

- **IEC Bulletin**
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

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

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

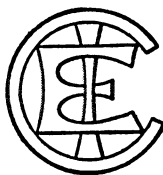
INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 367-1 D

1977

Quatrième complément à la Publication 367-1 (1971)
Noyaux pour bobines d'inductance et transformateurs
destinés aux télécommunications
Première partie: Méthodes de mesure

Fourth supplement to Publication 367-1 (1971)
Cores for inductors and transformers for telecommunications
Part 1: Measuring methods



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1 - 3, rue de Varembe
Genève, Suisse

SOMMAIRE

PRÉAMBULE	Pages 4
PRÉFACE	4

SECTION UN – GÉNÉRALITÉS

Articles

5. Précautions générales pour les mesures des pertes à faible induction	6
---	---

SECTION DEUX – MÉTHODES DE MESURE COMMUNES

11. Pertes à faible induction	8
ANNEXE G – Méthode d'oscillation amortie pour l'étalonnage des mesures de pertes.....	16
ANNEXE H – Méthode de transmission pour l'étalonnage des mesures de pertes.....	22
ANNEXE J – Guide pour la réalisation de bobines de mesures d'inductance pour les nouveaux types de noyaux	26

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

SECTION ONE – GENERAL

Clause

5. General precautions for loss measurement at low flux density	7
---	---

SECTION TWO – COMMON MEASURING METHODS

11. Losses at low flux density	9
APPENDIX G – Damped oscillation method for loss measurement calibration.....	17
APPENDIX H – Transmission method for loss measurement calibration.....	23
APPENDIX J – Guide for the design of inductance measuring coils for newly developed types of cores	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

Quatrième complément à la Publication 367-1 (1971)

NOYAUX POUR BOBINES D'INDUCTANCE
ET TRANSFORMATEURS DESTINÉS AUX TÉLÉCOMMUNICATIONS

Première partie: Méthodes de mesure

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° 51 de la CEI: Composants magnétiques et ferrites.

Elle contient les articles 5 et 11 de la Publication 367-1: Noyaux pour bobines d'inductance et transformateurs destinés aux télécommunications, Première partie: Méthodes de mesure, ainsi que les annexes G, H et J.

Un premier projet concernant les articles 5 et 11 ainsi que les annexes G et H fut discuté lors des réunions tenues à Londres en 1968, à Washington en 1970 et à Leningrad en 1971. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 51(Bureau Central)135, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en septembre 1972. Des modifications, document 51(Bureau Central)163, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en mars 1975.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication des articles 5 et 11 et des annexes G et H:

Allemagne	Hongrie	Suède
Australie	Israël	Suisse
Belgique	Italie	Tchécoslovaquie
Canada	Japon	Turquie
Danemark	Pays-Bas	Union des Républiques
Espagne	Pologne	Socialistes Soviétiques
Etats-Unis d'Amérique	Roumanie	
France	Royaume-Uni	

Un premier projet concernant l'annexe J fut discuté lors des réunions tenues à Washington en 1970, à Leningrad en 1971 et à Zurich en 1974. A la suite de cette dernière réunion, le projet, document 51(Bureau Central)158, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en septembre 1974. Des modifications, document 51(Bureau Central)184, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en avril 1976.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'annexe J:

Allemagne	France	Suède
Autriche	Hongrie	Suisse
Belgique	Italie	Turquie
Canada	Japon	Union des Républiques
Danemark	Pays-Bas	Socialistes Soviétiques
Egypte	Pologne	Yougoslavie
Espagne	Roumanie	
Etats-Unis d'Amérique	Royaume-Uni	

Autre publication de la CEI citée dans la présente norme:

Publication n° 317-2: Spécifications pour types particuliers de fils de bobinage, Deuxième partie: Fils de section circulaire en cuivre émaillé soudable, adhérent sous l'action de la chaleur ou de solvant.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

Fourth supplement to Publication 367-1 (1971)
CORES FOR INDUCTORS AND TRANSFORMERS
FOR TELECOMMUNICATIONS

Part 1: Measuring methods

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. 51, Magnetic Components and Ferite Materials.

It contains Clauses 5 and 11 of Publication 367-1, Cores for Inductors and Transformers for Telecommunications, Part 1: Measuring Methods, and Appendices G, H and J.

A first draft concerning Clauses 5 and 11 and Appendices G and H was discussed at the meetings held in London in 1968, in Washington in 1970 and in Leningrad in 1971. As a result of this latter meeting, a draft, Document 51(Central Office)135, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1972. Amendments, Document 51(Central Office)163, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in March 1975.

The following countries voted explicitly in favour of publication of Clauses 5 and 11 and Appendices G and H.

Australia	Israel	Switzerland
Belgium	Italy	Turkey
Canada	Japan	Union of Soviet
Czechoslovakia	Netherlands	Socialist Republics
Denmark	Poland	United Kingdom
France	Romania	United States of America
Germany	Spain	
Hungary	Sweden	

A first draft concerning Appendix J was discussed at the meetings held in Washington in 1970, in Leningrad in 1971 and in Zurich in 1974. As a result of this latter meeting, the draft, Document 51(Central Office)158, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1974. Amendments, Document 51(Central Office)184, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in April 1976.

The following countries voted explicitly in favour of publication of Appendix J:

Austria	Italy	Turkey
Belgium	Japan	Union of Soviet
Canada	Netherlands	Socialist Republics
Denmark	Poland	United Kingdom
Egypt	Romania	United States of America
France	Spain	Yugoslavia
Germany	Sweden	
Hungary	Switzerland	

Other IEC publication quoted in this standard:

- Publication No. 317-2: Specifications for Particular Types of Winding Wires, Part 2: Heat or Solvent Bonding Self-fluxing Enamelled Round Copper Wires.

Quatrième complément à la Publication 367-1 (1971)

NOYAUX POUR BOBINES D'INDUCTANCE ET TRANSFORMATEURS DESTINÉS AUX TÉLÉCOMMUNICATIONS

Première partie: Méthodes de mesure

Page 2

Au Sommaire, sous «Annexes», ajouter les nouveaux titres suivants:

- G – Méthode d'oscillation amortie pour l'étalonnage des mesures de pertes.
- H – Méthode de transmission pour l'étalonnage des mesures de pertes.
- J – Guide pour la réalisation de bobines de mesures d'inductance pour les nouveaux types de noyaux.

SECTION UN – GÉNÉRALITÉS

Page 12

Remplacer le titre de l'article 5 et «A l'étude» par ce qui suit:

5. Précautions générales pour les mesures des pertes à faible induction

5.1 Pertes

A faible induction (c'est-à-dire dans la région de Rayleigh) les pertes mesurées sur un noyau au moyen d'une bobine ou autre dispositif de couplage sont dues à différentes causes; les unes peuvent être inhérentes au noyau lui-même, d'autres aux dispositifs de couplage et aux connexions entre le dispositif de couplage et l'instrument de mesure. Pour les mesures avec bobine, les pertes suivantes peuvent être distinguées:

perte dans le noyau, perte ohmique dans la bobine, perte due à l'effet de peau et à l'effet de proximité, perte diélectrique dans la bobine, perte dans les fils de connexion et perte dans n'importe quels composants associés (par exemple dans le condensateur de résonance).

Des dispositions sont à prendre pour séparer la perte du noyau de la perte totale mesurée, soit par correction, soit en choisissant les conditions telles que les autres pertes soient rendues négligeables. La perte ohmique dans la bobine et la perte dans les composants associés peuvent être mesurées séparément; les autres pertes peuvent être soit calculées, soit déterminées expérimentalement.

La détermination de la perte dans le noyau ne présente pas de grosses difficultés pour les noyaux en ferrite sans entrefer ou avec un très petit entrefer (par exemple les tores et les noyaux en pot sans entrefer intentionnel) parce que, avec une bobine convenablement calculée, la perte dans le noyau est alors beaucoup plus forte que n'importe quelle autre perte.

Fourth supplement to Publication 367-1 (1971)

**CORES FOR INDUCTORS AND TRANSFORMERS
FOR TELECOMMUNICATIONS**

Part 1: Measuring methods

Page 3

In Contents, under "Appendices", add the following new headings:

- G – Damped oscillation method for loss measurement calibration.
- H – Transmission method for loss measurement calibration.
- J – Guide for the design of inductance measuring coils for newly developed types of cores.

SECTION ONE – GENERAL

Page 13

Replace the title of Clause 5 and "Under consideration" by:

5. General precautions for loss measurement at low flux density

5.1 Contributory losses

At low flux density (i.e. within the Rayleigh region), the loss measured on a core by means of a coil or other coupling device is due to a number of causes; some may be inherent in the core itself, some in the coupling device and some in the connection between the coupling device and the measuring instrument. For measurements with coils, the following contributory losses can be distinguished:

core loss, d.c. coil loss, losses due to skin effect and proximity effect, dielectric loss in the coil, loss in connecting wires and loss in any associated component (e.g. resonating capacitor).

An attempt should be made to isolate the core loss from the total loss measured, either by correction or by choosing the conditions so as to make the other contributory losses negligible. The d.c. coil loss and the loss in any associated component can be measured separately; the other contributory losses may be either calculated or determined experimentally.

The determination of the core loss does not present undue difficulties for ferrite cores without air gap or with a very small air gap (e.g. toroids and pot cores without intentional air gap) because, with a suitably designed coil, the core loss then is appreciably higher than any other of the contributory losses.

Cela n'est pas forcément le cas pour les mesures de pertes sur les noyaux à entrefer pour lesquels il peut être difficile d'obtenir une précision suffisante pour la perte dans le noyau seul.

Deux méthodes peuvent alors être appliquées:

- 1) Mesurer le facteur de pertes avant usinage de l'entrefer et calculer la perte dans le noyau avec entrefer.

Note. – Il n'est pas permis de mesurer le facteur de pertes sur un noyau sans entrefer de géométrie différente de celle du noyau à entrefer, par exemple sur un tore de même matériau, puisque la perte par courant de Foucault dépend fortement de la géométrie du noyau.

- 2) Ne pas essayer de séparer la perte du noyau et celle de la bobine mais comparer la perte combinée de la bobine de mesure et du noyau avec les résultats obtenus à partir de mesures analogues sur d'autres noyaux utilisant une bobine de construction identique et ayant la même résistance ohmique.

La meilleure politique est d'obtenir ces bobines de mesure à partir de la même source et, de temps en temps, de comparer les résultats de mesure avec différentes bobines sur les mêmes noyaux. De plus, les résultats de mesure devront être accompagnés de la valeur de la résistance ohmique de la bobine; si on vérifie ces résultats avec une autre bobine, les mesures devront être corrigées pour s'appliquer à la résistance de la bobine.

5.2 Montage

Des couplages entre le champ de fuite du noyau et les objets étrangers doivent être évités. Les connexions entre la bobine de mesure ou autre dispositif de couplage et l'instrument de mesure doivent être courtes, directes et fixées, de telle façon que le mouvement de l'échantillon ne puisse causer d'erreurs additionnelles.

Pour les noyaux comportant au moins deux pièces assemblées autour de la bobine de mesure, ces pièces doivent être montées comme spécifié au paragraphe 4.3, mais la force n'est pas aussi critique que dans le cas d'une mesure d'inductance.

Le positionnement de la bobine de mesure dans le noyau doit répondre à la description donnée au paragraphe 7.2.

Page 14

Ajouter au cinquième alinéa du paragraphe 7.2 le nouveau texte suivant:

Des directives pour la réalisation de bobines de mesures d'inductance sont données à l'annexe J.

SECTION DEUX – MÉTHODES DE MESURE COMMUNES

Page 26

Remplacer le titre de l'article 11 et «A l'étude» par ce qui suit:

11. Pertes à faible induction

11.1 Objet

Fournir des instructions générales pour la mesure de pertes à la fois pour les noyaux à entrefer et sans entrefer, et établir des méthodes de référence pour l'étalonnage des instruments de mesure de pertes.

This may not be the case for loss measurement on gapped cores for which it may be difficult to obtain a sufficiently accurate result for the core loss alone.

Two methods may then be followed:

- 1) Measure the loss factor before the air gap is ground and calculate the loss in the gapped core.

Note. – It is not permissible to measure the loss factor on an ungapped core having a geometry different from that of the gapped core, for example, on a toroid of the same material, since the eddy current core loss strongly depends upon the core geometry.

- 2) Make no attempt to separate core and coil loss but compare the combined loss of the core and the measuring coil with the results obtained from similar measurements of other cores using a coil of identical construction and having the same d.c. resistance.

The best policy is to obtain these measuring coils from the same source and from time to time compare the results of measurements with various coils on the same cores. Furthermore, the measuring results should be accompanied by the d.c. resistance value of the coil; when comparing the results obtained with different coils, the measurements shall be corrected to allow for the difference in coil resistance.

5.2 Mounting

Coupling between the stray field of the core and extraneous objects should be avoided. Connections between the measuring coil or other coupling device and the measuring instrument should be short, direct and so fixed that movement of the specimen cannot cause additional error.

Cores of more than one part which assemble around the measuring coil shall in general be clamped as specified in Sub-clause 4.3 but the force is not so critical as in the case of inductance measurement.

The positioning of the measuring coil on the core shall be as described in Sub-clause 7.2.

Page 15

Add to the fifth paragraph of Sub-clause 7.2 the following new text:

Guidance for the design of inductance measuring coils is given in Appendix J.

SECTION TWO – COMMON MEASURING METHODS

Page 27

Replace the title of Clause 11 and “Under consideration” by:

11. Losses at low flux density

11.1 Object

To provide general instructions for the measurement of loss, both in gapped and ungapped cores, and to establish reference methods for the calibration of loss measuring instruments.

11.2 Echantillons

Les noyaux utilisés pour les mesures doivent être prélevés dans la production normale.

Pour les noyaux utilisés avec un entrefer, tels que les noyaux en pot pour inductances, les pertes peuvent être mesurées avant la taille de cet entrefer (voir le paragraphe 11.4).

11.3 Moyens de couplage

Normalement une bobine de mesure sera utilisée mais, en principe, n'importe quelle ligne coaxiale, cavité, ou tout autre dispositif approprié, produisant l'interaction nécessaire entre le matériau magnétique et le signal électromagnétique, peut aussi être utilisé.

Les bobines de mesure sensibles à l'influence de l'humidité seront stockées en atmosphère sèche et les mesures auront lieu de préférence dans les conditions atmosphériques normales pour les essais de référence (voir le paragraphe 3.2).

Des détails complets de la construction de la bobine ou de tout autre dispositif doivent être donnés dans la spécification particulière. La construction doit être basée sur les considérations suivantes:

- a) Des bobines pour les noyaux comprenant plus d'une pièce doivent, autant que possible, être calculées de telle sorte que la fréquence optimale (où Q est maximum) de l'ensemble noyau-bobine soit bien au-dessous de la fréquence de mesure afin que la perte dans la bobine puisse être négligée. Quand cela n'est pas possible, on essaie de maintenir à un niveau aussi faible que possible la perte additionnelle dans le bobinage et la perte diélectrique dans l'isolation de la bobine en utilisant du fil multibrins, un petit nombre de spires et/ou des carcasses subdivisées de telle sorte que les résultats de mesure ne seront corrigés que de la perte ohmique dans la bobine.

Si la correction de la perte dans la bobine conduisait à une imprécision inacceptable, des bobines étalons devraient être utilisées et les pertes combinées de la bobine et du noyau devraient être spécifiées (voir le paragraphe 5.1, 2)). Pour la mesure sur les noyaux à Q élevé, tels que les noyaux à entrefer, des bobines étalons seront échangées entre les parties effectuant des mesures sur les mêmes noyaux.

- b) Les spires bobinées sur des tores doivent être régulièrement réparties. Il est préférable d'utiliser du fil de cuivre massif isolé qui couvrira complètement le tore.

Note - Du fil de cuivre massif est recommandé à cause du risque de cassure des brins du fil multibrins quand on bobine un tore. Pour des mesures à haute fréquence, cependant, le fil multibrins peut être nécessaire.

- c) Dans tout les cas, la capacité répartie de la bobine sur le noyau sera de préférence inférieure à 2 % de la capacité de résonance pour éviter, à la fois des pertes diélectriques excessives et une correction de l'inductance mesurée (lorsque cette dernière mesure est exigée).

11.4 Mesure de la perte résiduelle et de la perte par courant de Foucault

Tout appareil de mesure approprié peut être utilisé à condition que la précision soit compatible avec la limite de perte spécifiée. Il doit aussi permettre le réglage de l'induction dans le noyau à la valeur spécifiée. L'induction pendant les mesures doit être spécifiée. Quand aucune valeur de l'induction n'est spécifiée, sa valeur pendant les mesures doit être égale ou inférieure à la valeur spécifiée pour la mesure d'inductance sur le même noyau, selon l'article 7. La ou les fréquences de mesure doivent être celles qui sont indiquées dans la spécification applicable.

Les corrections des pertes dans la bobine ou de la perte dans le condensateur d'accord, ou des deux à la fois, peuvent être exigées. La méthode suivante est recommandée pour la correction de la perte dans la bobine:

11.2 Specimens

Cores taken from current production shall be used for the measurement.

For cores which are used with an air gap in the flux path, such as pot cores for inductors, the loss may be measured before grinding that air gap (see Sub-clause 11.4).

11.3 Means of coupling

Normally, a measuring coil will be used, but in principle any coaxial line, cavity or other suitable device providing the necessary interaction between the magnetic material and the electromagnetic signal may also be used.

Measuring coils sensitive to the influence of moisture should be stored under dry conditions and measurements should preferably take place under standard atmospheric conditions for referee tests (see Sub-clause 3.2).

Full details of the construction of the coil or other device shall be given in the relevant specification. The construction shall be based on the following considerations:

- a) Coils for cores consisting of more than one part shall, when possible, be designed so that the optimum frequency (where Q is maximum) for the core-coil combination is well below the measuring frequency, so that the coil loss can be neglected. Where the above is not possible, an attempt should be made to keep the additional winding loss and the dielectric loss in the coil insulation as low as possible by using stranded wire, a low number of turns and/or subdivided coils, so that measuring results need only be corrected for the d.c. resistance loss of the coil.

Where correction for coil loss would result in an unacceptable inaccuracy, standard coils shall be used and the combined loss of core and coil shall be specified (see Sub-clause 5.1 item 2)). For measurement on high- Q cores, such as gapped cores, the standard coils should be exchanged between parties making measurements on the same cores.

- b) Coils wound on toroids shall be evenly distributed. It is preferable that insulated solid copper wire be used and that it completely covers the toroid.

Note. – Solid copper wire is recommended because of the risk of breaking of wire strands when winding a toroid. For measurements at high frequencies, however, stranded wire may be necessary.

- c) In all cases, the self-capacitance of the coil on the core should preferably be less than 2 % of the resonating capacitance to avoid both excessive dielectric loss and correction of the measured inductance (where measurement of the latter is required).

11.4 Measurement of residual and eddy current loss

Any suitable measuring apparatus may be used, provided the accuracy is compatible with the specified loss limit. It shall also allow the flux density in the core to be adjusted to the specified value. The flux density during measurement shall be stated. When no value of the flux density is specified, its value during measurement shall be equal to or lower than the value specified for the measurement of inductance on the same core according to Clause 7. The measuring frequency or frequencies shall be as specified in the relevant specification.

Corrections for coil loss or loss in the tuning capacitor or both may be required. The following method is recommended for the correction of the coil loss:

Mesurer la résistance série et l'inductance série de la bobine avec noyau et soustraire la résistance équivalente de la bobine, c'est-à-dire la résistance ohmique de la bobine augmentée de l'équivalence des pertes additionnelles estimées dans la bobine à la fréquence de mesure (voir le paragraphe 11.3 a)). Enfin, effectuer, si besoin est, la transformation en résistance parallèle, facteur de qualité ou autres grandeurs dans lesquelles la perte du noyau doit être exprimée.

Quand le facteur de pertes est mesuré avant l'usinage de l'entrefer (voir le paragraphe 5.1, méthode 1), la perte dans un noyau avec entrefer peut être calculée à partir de:

$$(\operatorname{tg} \delta)_e = \left(\frac{\operatorname{tg} \delta}{\mu_i} \right) \times \mu_e$$

où:

$(\operatorname{tg} \delta)_e$ = tangente de l'angle de pertes dans le noyau à entrefer de perméabilité effective μ_e

$\left(\frac{\operatorname{tg} \delta}{\mu_i} \right)$ = facteur de pertes mesuré sur le noyau (ou sur un noyau du même lot ou de la même série) avant usinage de l'entrefer

11.5 Mesure de la perte par hystérésis

Tout appareil de mesure convenable peut être utilisé s'il permet de déterminer avec la précision exigée la variation des pertes dans le noyau en fonction de l'amplitude. La valeur de la perte par hystérésis doit être calculée à partir des mesures de pertes aux deux valeurs de tension de crête indiquées dans la spécification applicable (le nombre de spires de la bobine d'essais étant aussi spécifié), qui doivent être choisies de telle façon que l'induction effective de crête dans le noyau ne dépasse pas 5 mT. Si c'est nécessaire, l'inductance de la bobine de mesure avec son noyau doit être mesurée à la valeur de la tension la plus faible.

La ou les fréquences de mesure doivent être celles qui sont indiquées dans la spécification applicable.

La perte par hystérésis doit être calculée sur la base de la proportionnalité du rapport de la différence des pertes mesurées à la différence de tension de crête appliquée. La correction pour les pertes dans la bobine n'est pas normalement exigée.

Par exemple:

1) Pour les noyaux de perméabilité effective donnée, mesures en série:

$$\operatorname{tg} \delta_h = \frac{\hat{U} \Delta R_s}{\omega L_s \Delta \hat{U}}$$

où:

$\operatorname{tg} \delta_h$ = tangente de l'angle de pertes due à la perte par hystérésis

$\hat{U}$ = valeur de crête de la plus forte des deux tensions de mesure appliquées

ΔR_s = différence mesurée dans les résistances séries

$\Delta \hat{U}$ = différence dans les tensions de crête appliquées

L_s = inductance série de la bobine sur le noyau à la plus faible des deux tensions de mesure appliquées

Measure the series resistance and inductance of the coil with core and subtract the equivalent resistance of the coil, i.e. the measured d.c. resistance of the coil increased by the equivalence of the estimated additional coil loss at the measuring frequency (see Sub-clause 11.3 a)). Finally, if necessary, convert the result to parallel resistance, quality factor or other quantity in which the core loss has to be expressed.

When the loss factor is measured before the grinding of the air gap (see Sub-clause 5.1, method 1), the loss in a core with air gap can be calculated from:

$$(\tan \delta)_e = \left(\frac{\tan \delta}{\mu_i} \right) \times \mu_e$$

where:

$(\tan \delta)_e$ = tangent of loss angle in the gapped core with effective permeability μ_e

$\left(\frac{\tan \delta}{\mu_i} \right)$ = loss factor measured on the core (or on a core of the same lot or series) before the grinding of the air gap

11.5 Measurement of the hysteresis loss

Any suitable measuring apparatus may be used which allows the variation of the core loss with amplitude to be determined with the required accuracy. The value of the hysteresis loss shall be derived from loss measurements at the two values of the peak voltage specified in the relevant specification (the number of turns of the test coil also being specified), which shall be so chosen that the peak effective flux density in the core does not exceed 5 mT. When necessary, the inductance of the measuring coil with core shall be measured at the lower voltage value.

The measuring frequency or frequencies shall be as specified in the relevant specification.

The hysteresis loss shall be calculated on the basis of its proportionality to the ratio of the measured loss difference to the applied peak voltage difference. Correction for coil loss is not normally required

For example:

1) For cores with given effective permeability, series measurement:

$$\tan \delta_h = \frac{\hat{U} \Delta R_s}{\omega L_s \Delta \hat{U}}$$

where:

$\tan \delta_h$ = tangent of the loss angle due to hysteresis loss

$\hat{U}$ = higher applied measuring peak voltage

ΔR_s = measured difference in series resistance

$\Delta \hat{U}$ = difference in applied measuring peak voltage

L_s = series inductance of the coil on the core at lower applied measuring voltage

- 2) Pour les matériaux et pour les noyaux qui peuvent avoir des entrefers différents, mesures en parallèle:

$$\eta_B = \frac{\omega^2 N^3 \mu_0}{C_2} \cdot \frac{\Delta G_p}{\Delta \hat{U}}$$

où:

η_B = constante hystérétique du matériau

ΔG_p = différence mesurée en conductance parallèle

$\Delta \hat{U}$ = différence dans les tensions de crête appliquées

Notes 1. – Pour une explication plus détaillée des symboles, voir l'article 2.

2. – Lorsqu'on suppose que η_B est une constante du matériau indépendante de μ_e et de $\hat{B}$, il s'ensuit que $\text{tg } \delta_h$ pour un noyau de μ_e donné est proportionnelle à $\hat{B} \cdot (\text{tg } \delta_h = \eta_B \cdot \mu_e \cdot \hat{B})$.

11.6 Méthodes de référence

Pour la mesure de pertes sur des noyaux avec entrefer présentant des facteurs de qualité élevés et sur des noyaux en tore ou sans entrefer présentant des facteurs de qualité modérés, l'appareil de mesure doit être étalonné au moyen d'une méthode de référence.

Deux méthodes de référence sont recommandées: une méthode d'oscillation amortie (voir l'annexe G) et une méthode de transmission (voir l'annexe H).

2) For materials and for cores which may have different air gaps, parallel measurement:

$$\eta_B = \frac{\omega^2 N^3 \mu_0}{C_2} \cdot \frac{\Delta G_p}{\Delta \hat{U}}$$

where:

η_B = hysteresis material constant

ΔG_p = measured difference in parallel conductance

$\Delta \hat{U}$ = difference in applied measuring peak voltage

Notes 1. – For an explanation of further symbols, see Clause 2.

2. – If it is assumed that η_B as a material constant is independent of μ_e and $\hat{B}$, then it follows that $\tan \delta_h$ for a core with given μ_e is proportional to $\hat{B}$ ($\tan \delta_h = \eta_B \cdot \mu_e \cdot \hat{B}$).

11.6 Reference methods

For loss measurements on gapped cores with high quality factor and on ungapped or toroidal cores with moderate quality factor, the measuring apparatus shall be calibrated by means of a reference method.

Two reference methods are recommended: a damped oscillation method (see Appendix G) and a transmission method (see Appendix H).

Après la page 50

Ajouter les nouvelles annexes G, H et J suivantes:

ANNEXE G

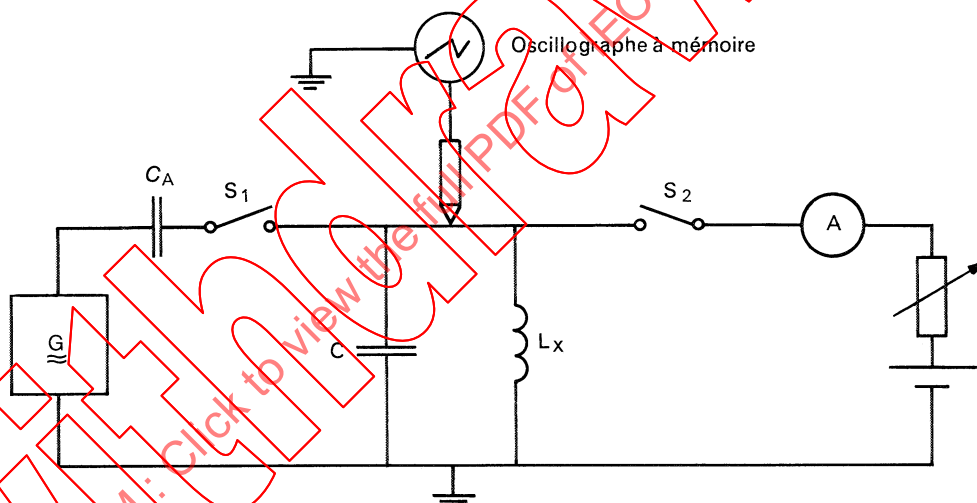
MÉTHODE D'OSCILLATION AMORTIE POUR L'ÉTALONNAGE DES MESURES DE PERTES

G1. Principes

L'inductance L_x à mesurer est montée en parallèle avec un condensateur C de qualité élevée, de telle sorte que la fréquence de résonance de l'ensemble soit substantiellement égale à la fréquence de mesure. Ce circuit est excité en impulsions et l'oscillation amortie résultante est observée sur un oscilloscope étalonné. L'amplitude de la tension est mesurée au début et à la fin d'un intervalle de temps connu et le facteur de qualité est calculé d'après ces mesures.

Seul le facteur de qualité de l'ensemble peut normalement être mesuré par cette méthode.

Différentes méthodes de mesure peuvent être utilisées, dont une est représentée comme exemple sur la figure 1 et décrite ci-dessous.



063/77

FIGURE 1

G2. Précision de la mesure

Une précision meilleure que 2 % peut être obtenue si les corrections de résistance de la sonde et de perte dans le condensateur sont relativement petites.

G3. Détails du circuit de mesure

La capacité de couplage C_A doit être très petite par rapport à la capacité de résonance C , de telle sorte que l'impédance du générateur ait un effet négligeable sur le circuit résonnant. L'impédance de la sonde doit être très élevée; autrement, cette impédance doit être connue et une correction doit être faite (voir ci-dessous).

After page 51

Add the following new Appendices G, H and J:

APPENDIX G

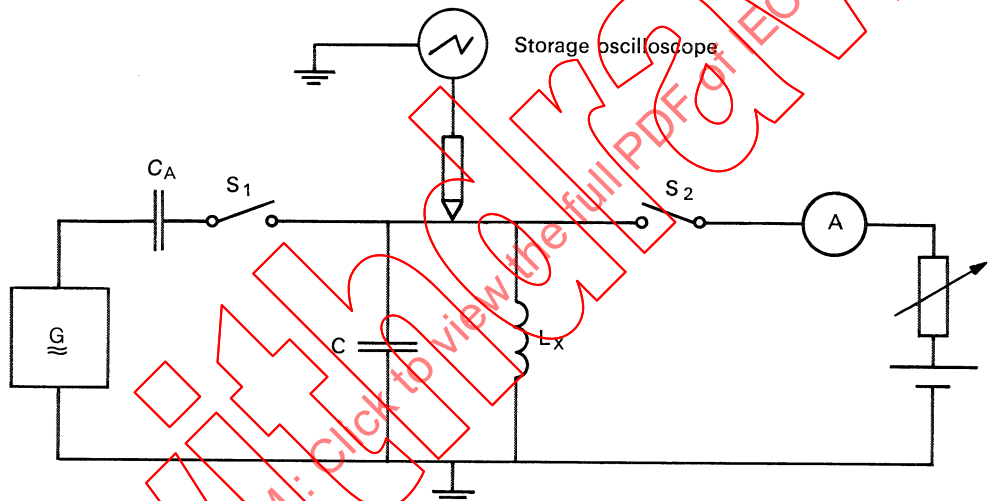
DAMPED OSCILLATION METHOD FOR LOSS MEASUREMENT CALIBRATION

G1. Principles

The inductor L_x to be measured is connected in parallel with a high quality capacitor C such that the resonant frequency of the combination substantially equals the measuring frequency. This circuit is pulse excited and the resulting damped oscillation is observed on a calibrated oscilloscope. The amplitude of the voltage is measured at the start and finish of a known time interval and the quality factor is derived from these measurements.

Only the overall quality factor may normally be measured by this method.

A variety of measuring methods may be used, one of which is illustrated as an example in Figure 1 and described below.



063/77

FIGURE 1

G2. Accuracy of the method

An accuracy of better than 2% can be obtained provided the corrections for probe resistance and capacitor loss are relatively small.

G3. Measuring circuit details

The coupling capacitance C_A must be very small compared with the resonating capacitance C so that the generator impedance has negligible effect on the resonant circuit. The impedance of the probe must be very high; otherwise the impedance must be known and a correction made as described below.

Avec l'interrupteur S_2 ouvert et l'oscilloscope fonctionnant sans mémoire, l'interrupteur S_1 est fermé et la fréquence du générateur est réglée à la fréquence de résonance en suivant les indications de l'amplitude maximale sur l'oscilloscope. La tension aux bornes de l'inductance devra correspondre approximativement à l'induction spécifiée.

Si la fréquence de résonance n'est pas assez voisine de la fréquence de mesure spécifiée, on ajustera alors la valeur de C . Lorsque la fréquence de résonance est assez voisine de la fréquence de mesure, l'interrupteur S_1 est ouvert et, en outre, le générateur est coupé.

L'interrupteur S_2 est alors fermé et le courant continu est réglé à une valeur correspondant à l'induction spécifiée, en prenant soin de ne pas faire passer de courants excessifs dans l'inductance. L'oscilloscope est commuté sur le mode mémoire et l'interrupteur S_2 est ouvert.

L'oscillation amortie résultante est enregistrée sur l'oscilloscope. Si la trace ne convient pas aux conditions de mesure, on doit régler la sensibilité verticale et la vitesse de balayage et ensuite répéter la procédure de cet article jusqu'à ce que l'enveloppe de la trace apparaisse comme indiqué à la figure 2 (facteur de qualité élevé) ou à la figure 3 (facteur de qualité faible).

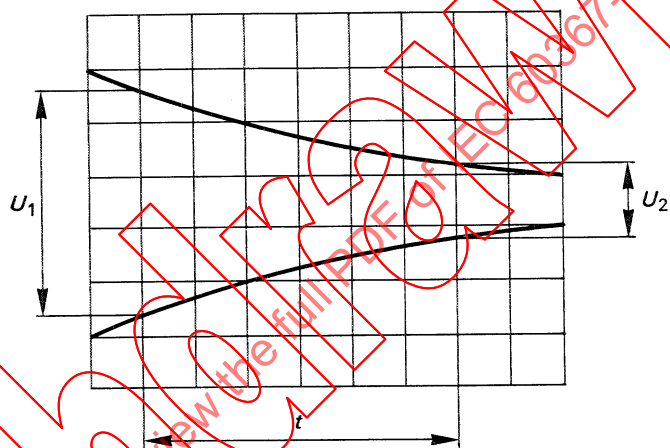


FIGURE 2

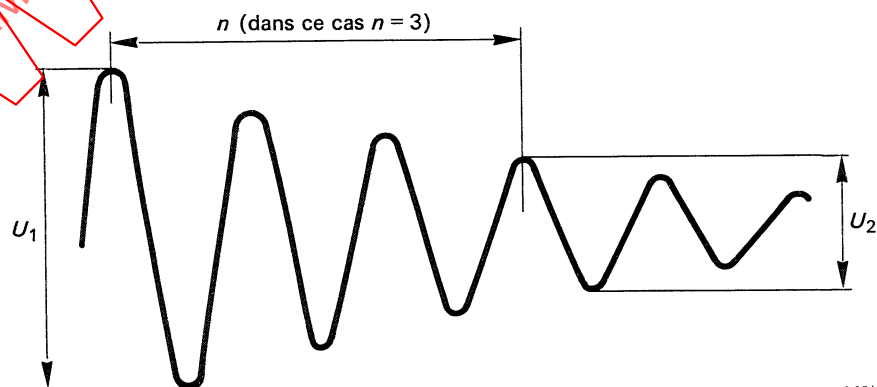


FIGURE 3

With switch S_2 open and the oscilloscope operating in the non-storage mode, switch S_1 is closed and the frequency of the generator is adjusted to the resonant frequency as observed by the maximum amplitude indication on the oscilloscope. The voltage across the inductor should correspond approximately to the specified flux density.

If the resonant frequency is not close enough to the specified measuring frequency, then C should be adjusted. When the resonant frequency is close enough to the measuring frequency, switch S_1 is opened and, in addition, the generator is switched off.

Switch S_2 is then closed and the direct current is adjusted to a value corresponding to the specified flux density, care being taken not to allow excessively large currents to flow through the inductor. The oscilloscope is switched to the storage mode and switch S_2 is opened.

The ensuing damped oscillation is recorded on the oscilloscope. If the trace is not suitable for measurement purposes, the vertical sensitivity and the sweep rate must be adjusted and the procedure of the foregoing paragraph repeated until the trace envelope appears as shown in Figure 2 (high quality factor) or Figure 3 (low quality factor).

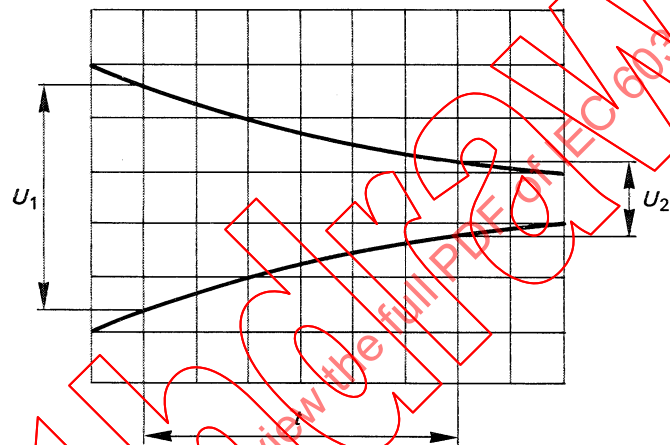


FIGURE 2

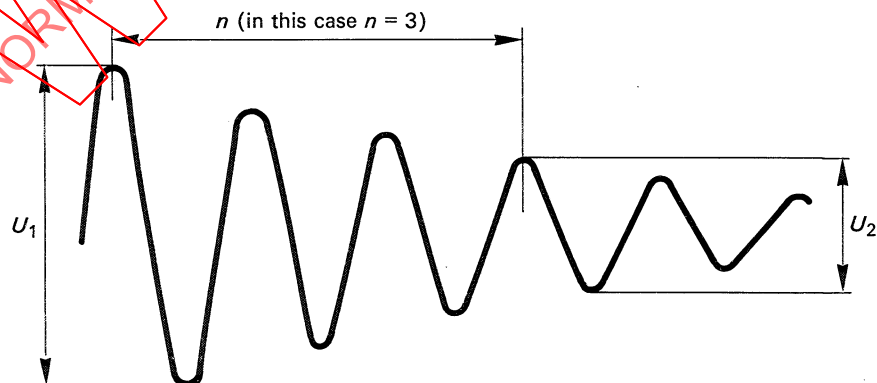


FIGURE 3

G4. Calcul

Facteur de qualité élevé (voir la figure 2, page 18): mesurer les tensions U_1 et U_2 (ou des quantités proportionnelles) et l'intervalle de temps t :

$$Q_i = \frac{\omega t}{2 \ln \frac{U_1}{U_2}}$$

Facteur de qualité faible (voir la figure 3, page 18): mesurer les tensions U_1 et U_2 (ou des quantités proportionnelles) et le nombre de cycles n :

$$Q_i = \frac{\pi n}{\ln \frac{U_1}{U_2}}$$

où:

Q_i = facteur de qualité non corrigé du circuit résonnant

Si la résistance parallèle de la sonde n'est pas suffisamment élevée pour qu'une influence soit négligeable, la correction est donnée par:

$$Q_{LC} = \frac{R Q_i}{R - Q_i \omega L}$$

où:

Q_{LC} = facteur de qualité corrigé du circuit résonnant

R = résistance parallèle de la sonde

L = inductance parallèle de l'inductance en essai

Corrections pour la perte du condensateur.

$$Q_L = \frac{Q_{LC} \cdot Q_C}{Q_C - Q_{LC}}$$

où:

Q_L = facteur de qualité de l'inductance en essai

Q_C = facteur de qualité du condensateur

G5. Autres techniques de mesures

Par exemple:

- 1) Au lieu d'employer un oscilloscope à mémoire (voir la figure 1, page 16), un oscilloscope déclenché et un appareil photographique peuvent être utilisés.
- 2) Un oscilloscope à base de temps répétitive normale peut être utilisé. Dans ce cas, le circuit d'excitation doit alimenter par impulsions le circuit résonnant et aussi synchroniser la base de temps. On doit prendre soin que le circuit d'excitation ne charge pas le circuit résonnant. Une faible capacité de couplage par une antenne placée à proximité du circuit résonnant peut être utilisée. Il est aussi important de s'assurer d'une répétition stable de la trace.
- 3) Une autre méthode consiste à remplacer l'oscilloscope par un circuit sensible à la tension comptant et affichant le nombre de cycles entre les tensions préréglées U_1 et U_2 . Lorsque le rapport de U_1 à U_2 est égal à 23,1 le nombre indiqué de cycles est égal à Q_i .

G4. Calculation

High quality factor (see Figure 2, page 19): measure voltage U_1 and U_2 (or quantities proportional to them) and the time interval t :

$$Q_i = \frac{\omega t}{2 \ln \frac{U_1}{U_2}}$$

Low quality factor (see Figure 3, page 19): measure voltages U_1 and U_2 (or quantities proportional to them) and the number of cycles n :

$$Q_i = \frac{\pi n}{\ln \frac{U_1}{U_2}}$$

where:

Q_i = uncorrected quality factor of resonant circuit

If the shunt resistance of the probe is not sufficiently high to be neglected, correction is given by:

$$Q_{LC} = \frac{R Q_i}{R - Q_i \omega L}$$

where:

Q_{LC} = corrected quality factor of resonant circuit

R = parallel resistance of probe

L = parallel inductance of inductor under test

Correction for capacitor loss:

$$Q_L = \frac{Q_{LC} \cdot Q_C}{Q_C - Q_{LC}}$$

where:

Q_L = overall quality factor of inductor under test

Q_C = quality factor of capacitor

G5. Alternative measuring techniques

Examples are:

- 1) Instead of using a storage oscilloscope (see Figure 1, page 17), a triggered oscilloscope and a camera may be used.
- 2) A normal repetitive time-base oscilloscope may be used. In this case, the exciting circuit must pulse the resonant circuit and also synchronize the time base. Care must then be taken that the exciting circuit does not load the resonant circuit; low capacitance coupling via an antenna placed in the proximity of the resonant circuit can be used. It is also important to ensure a stable repetition of the trace.
- 3) Another method is to replace the oscilloscope by a voltage sensing circuit set to count and display the number of cycles between pre-set voltages U_1 and U_2 . If the ratio of U_1 to U_2 is made equal to 23.1, the indicated number of cycles equals Q_i .

ANNEXE H

MÉTHODE DE TRANSMISSION POUR L'ÉTALONNAGE DES MESURES DE PERTES

H1. Principe

L'inductance à mesurer est associée à un condensateur de qualité élevée pour former un circuit résonnant LC à la fréquence de mesure. La résistance effective à la résonance est mesurée en déterminant l'affaiblissement d'un circuit de transmission contenant le circuit résonnant. Le facteur de qualité est calculé à partir de cette résistance et de la réactance de l'inductance mesurée dans des conditions identiques, en tenant compte des pertes dues aux composants du circuit.

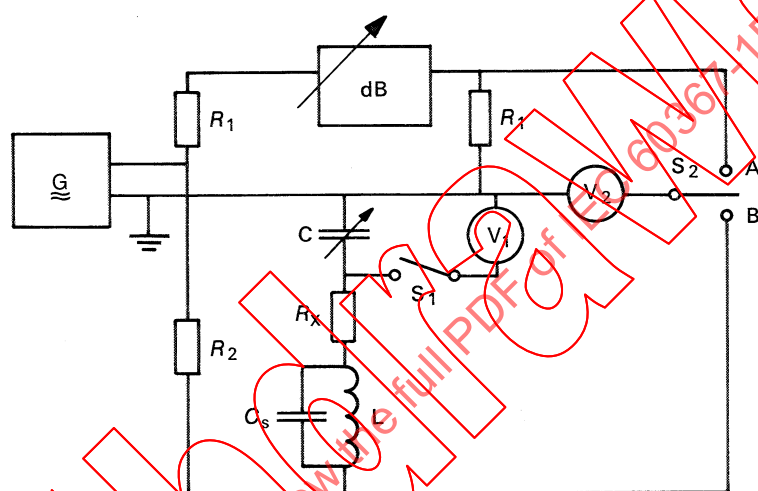


FIGURE 4

066/77

Note. – Le montage en parallèle de l'inductance et du condensateur peut aussi être utilisé si on le désire, mais cela nécessite une adaptation des caractéristiques des composants du circuit.

H2. Circuit

Le générateur G est variable en fréquence et en tension. La valeur des deux résistances R_1 est égale à la résistance caractéristique de la ligne d'affaiblissement. La résistance R_2 est environ deux fois la résistance série effective (R_x) du circuit résonnant (on doit l'estimer à l'avance) ou 5Ω si celle-ci est plus grande.

La ligne d'affaiblissement doit être capable de déterminer 0,1 dB avec une précision suffisante. La précision de cette méthode dépend principalement de la précision de la ligne d'affaiblissement.

Le voltmètre V_1 est un voltmètre alternatif à haute impédance.

Le voltmètre V_2 est un détecteur accordé ayant une impédance d'entrée beaucoup plus grande que R_1 et R_2 .

APPENDIX H

TRANSMISSION METHOD FOR LOSS MEASUREMENT CALIBRATION

H1. Principle

The inductor to be measured is combined with a high-quality capacitor to form an LC circuit resonating at the measuring frequency. The effective resistance at resonance is measured by determining the attenuation of a transmission path containing the resonant circuit. The quality factor is calculated from this resistance and the reactance of the inductor measured under identical conditions, taking into account the losses due to circuit components.

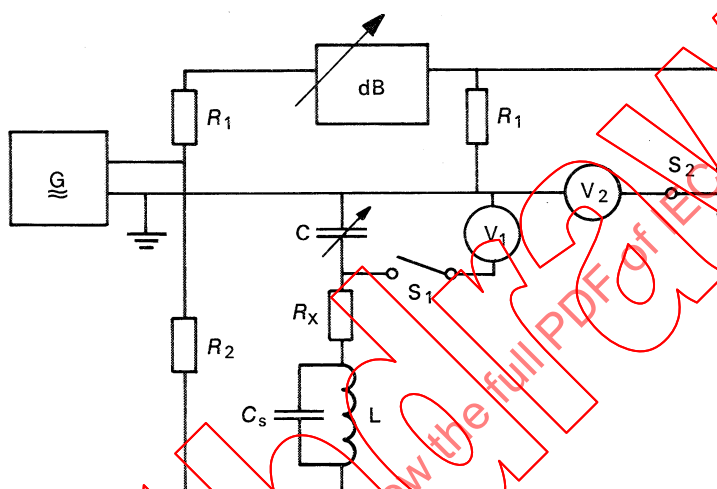


FIGURE 4

066/77

Note. – The parallel connection of inductor and capacitor may also be used if desired, but this would require an adaptation of the circuit component characteristics.

H2. Circuit

The generator G is variable in frequency and voltage. The resistance of the two resistors R_1 is equal to the characteristic resistance of the attenuator. Resistance R_2 is approximately twice the effective series resistance (R_x) of the resonant circuit (which must be estimated in advance), or $5\ \Omega$, whichever is the greater.

The attenuator shall be able to resolve $0.1\ dB$ with sufficient accuracy. The accuracy of this method mainly depends on the accuracy of the attenuator.

Voltmeter V_1 is a high-impedance a.c. voltmeter.

Voltmeter V_2 is a tuned detector having an input impedance very much greater than R_1 and R_2 .

H3. Procédé de mesure

Avec l'interrupteur S_1 fermé, régler la fréquence du générateur à la fréquence de résonance du circuit LC comme indiqué par la déviation maximale de V_1 . Si la fréquence n'est pas à l'intérieur des limites spécifiées, le condensateur C doit être réglé de nouveau.

La tension du générateur doit être réglée pour satisfaire aux prescriptions du paragraphe 11.4. On réajuste alors la fréquence à la résonance, si nécessaire, et on ouvre l'interrupteur S_1 .

Avec l'interrupteur S_2 en position B, régler le détecteur V_2 au maximum de déviation. Le condensateur C est alors réaccordé pour correspondre au minimum de déviation de V_2 (pour compenser l'ouverture de S_1). La ligne d'affaiblissement est réglée jusqu'à ce que l'indication du détecteur soit la même pour chaque position de S_2 . On note l'affaiblissement obtenu α (en dB).

H4. Calcul

$$Q_{LC} = \frac{\omega L}{R_x} = \frac{\omega L}{R_2} (2 \cdot 10^{\alpha/20} - 1)$$

où:

Q_{LC} = facteur de qualité du circuit LC

L = inductance série de la bobine d'inductance en essai (voir le paragraphe 7.3)

R_x = résistance équivalente série du circuit LC

Correction pour les pertes dans le condensateur et pour la capacité répartie de l'inductance:

$$Q_L = \frac{Q_{LC} \cdot Q_C}{Q_C - Q_{LC}} \left(1 + \frac{2C_s}{C} \right)$$

où:

Q_L = facteur de qualité corrigé de la bobine d'inductance en essai

Q_C = facteur de qualité du condensateur

C_s = capacité répartie de la bobine d'inductance en essai

C = capacité du condensateur de résonance

H3. Measuring procedure

With switch S_1 closed, the frequency of the generator is adjusted to the resonant frequency of the LC circuit as indicated by maximum deflection of V_1 . If the frequency is then not within the specified limits, capacitor C shall be readjusted.

The voltage of the generator shall be so adjusted that the requirements of Sub-clause 11.4 are met. The frequency is then readjusted to resonance if necessary and switch S_1 is opened.

With switch S_2 in position B, the tuning of detector V_2 is adjusted for maximum deflection. The capacitor C is then retuned for minimum deflection of V_2 (to compensate the opening of S_1). The attenuator is adjusted until the detector indication is the same for either position of switch S_2 . The attenuator setting α (in dB) is noted.

H4. Calculation

$$Q_{LC} = \frac{\omega L}{R_x} = \frac{\omega L}{R_2} (2 \cdot 10^{\alpha/20} - 1)$$

where:

Q_{LC} = quality factor of LC circuit

L = series inductance of inductor under test (see Sub-clause 7.3)

R_x = equivalent series resistance of LC circuit

Correction for capacitor loss and for self-capacitance of the inductor:

$$Q_L = \frac{Q_{LC} \cdot Q_C}{Q_C - Q_{LC}} \left(1 + \frac{2C_s}{C} \right)$$

where:

Q_L = corrected quality factor of the inductor under test

Q_C = quality factor of capacitor

C_s = self-capacitance of the inductor under test

C = capacitance of the resonating capacitor

ANNEXE J

GUIDE POUR LA RÉALISATION DE BOBINES DE MESURES D'INDUCTANCE POUR LES NOUVEAUX TYPES DE NOYAUX

J1. Objet

Donner des principes de réalisation communs pour les bobines de mesures d'inductance pour les nouveaux types de noyaux ferrites pour utilisation dans les transformateurs et inductances de télécommunications. Ces principes permettent aux fabricants de ces nouveaux types de noyaux d'établir des bobines de mesures d'inductance associées qui seront généralement acceptables et qui donneront des valeurs reproductibles de l'inductance spécifique.

Note. – Ces principes laissent encore une certaine liberté au réalisateur, mais on envisage que le créateur du noyau propose que les dimensions de la bobine d'essai soient en accord avec ces directives et qu'elles soient acceptées en tant que norme.

J2. Guide pour les réalisations des bobines de mesures d'inductance

J2.1 La bobine doit être bobinée sous forme d'un bobinage sans support sur un mandrin entre flasques. L'emploi de la technique de bobinage, dite orthocyclique, est recommandé, et le fil utilisé doit être conforme aux exigences de la Publication 317-2 de la CIE: Spécifications pour types particuliers de fils de bobinage, Deuxième partie: Fils de section circulaire en cuivre émaillé soudable, adhérent sous l'action de la chaleur ou de solvant.

Note. – Il peut être souhaitable, quelquefois, de choisir un lot particulier de fil en stock afin de réduire la tolérance sur le diamètre.

J2.2 La géométrie de la bobine d'essai doit correspondre à celles des bobines qui sont utilisées pour la production normale d'inductances et de transformateurs utilisant ce noyau, c'est-à-dire que sa section droite doit être analogue et tenir compte de l'épaisseur normale des joues et des évidements appropriés à la réalisation du noyau particulier.

J2.3 Le diamètre du mandrin choisi en accord avec le paragraphe J2.2 doit avoir une tolérance de $-0 + 0,01$ mm. Il n'y a pas d'exigences de tolérance supplémentaire sur le diamètre intérieur de bobinage d_{ci} .

J2.4 Le nombre de spires exigé doit être d'environ 100 et toutes les couches doivent être remplies pour assurer la symétrie.

J2.5 La valeur maximale de la largeur du bobinage h dépend du nombre de spires par couche et du diamètre maximal de fil choisi et doit être en accord avec le paragraphe J2.2. D'après la valeur maximale ainsi calculée, la largeur nominale du bobinage doit être calculée et la tolérance ne doit pas dépasser $\pm 0,1$ mm.