

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60367-1**

Deuxième édition  
Second edition  
1982-01

---

---

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

**Première partie:  
Méthodes de mesure**

**Cores for inductors and transformers  
for telecommunications**

**Part 1:  
Measuring methods**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60367-1: 1982

## Numéros des publications

Depuis le 1er 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* (IEV).

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

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

## Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 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**

**60367-1**

Deuxième édition  
Second edition  
1982-01

---

---

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

**Première partie:  
Méthodes de mesure**

**Cores for inductors and transformers  
for telecommunications**

**Part 1:  
Measuring methods**

© IEC 1982 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)

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



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE **XB**

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

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	6
PRÉFACE . . . . .	6
Articles	
SECTION UN – GÉNÉRALITÉS	
1. Domaine d'application . . . . .	14
2. Objet . . . . .	14
3. Conditions d'ambiance . . . . .	16
4. Précautions générales pour les méthodes comprenant les mesures de la perméabilité . . . . .	16
5. Précautions générales pour les mesures des pertes à faible induction . . . . .	18
6. Conditionnement magnétique . . . . .	20
7. Mesure de l'inductance . . . . .	22
 SECTION DEUX – MÉTHODES DE MESURE COMMUNES	
8. Désaccommodation . . . . .	24
9. Variation de la perméabilité en fonction de la température . . . . .	28
10. Gamme de réglage de l'inductance . . . . .	34
11. Pertes . . . . .	38
 SECTION TROIS – MÉTHODES DE MESURE SPÉCIALISÉES	
12. Distorsion en troisième harmonique . . . . .	50
13. Sensibilité au choc magnétique . . . . .	54
14. Contribution du dispositif de réglage à l'instabilité du noyau . . . . .	58
15. Influence d'un champ magnétique statique . . . . .	64
16. Propriétés magnétiques en impulsions . . . . .	66
17. Perméabilité d'amplitude (effective) . . . . .	82
ANNEXES A – Appareil de conditionnement magnétique à décharge de condensateur . . . . .	88
B – Amplificateur de puissance pour le conditionnement magnétique . . . . .	92
C – Appareil pour le conditionnement magnétique basé sur la méthode avec champ alternatif . . . . .	96
D – Méthode thermique pour le conditionnement magnétique . . . . .	98
E – Guide pour la réalisation de bobines de mesures d'inductance pour les nouveaux types de noyaux . . . . .	100

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	7
PREFACE . . . . .	7
Clause	SECTION ONE – GENERAL
1. Scope . . . . .	15
2. Object . . . . .	15
3. Environmental conditions . . . . .	17
4. General precautions for methods involving permeability measurements . . . . .	17
5. General precautions for loss measurement at low flux density . . . . .	19
6. Magnetic conditioning . . . . .	21
7. Inductance measurement . . . . .	23
	SECTION TWO – COMMON MEASURING METHODS
8. Disaccommodation . . . . .	25
9. Variation of permeability with temperature . . . . .	29
10. Range of inductance adjustment . . . . .	35
11. Losses . . . . .	39
	SECTION THREE – SPECIALIZED MEASURING METHODS
12. Third harmonic distortion . . . . .	51
13. Magnetic shock sensitivity . . . . .	55
14. Contribution of the adjusting device to the core instability . . . . .	59
15. Influence of a static magnetic field . . . . .	65
16. Magnetic properties under pulse conditions . . . . .	67
17. (Effective) Amplitude permeability . . . . .	83
APPENDICES A – Apparatus for magnetic conditioning with capacitor discharge . . . . .	89
B – Power amplifier for magnetic conditioning . . . . .	93
C – Apparatus for magnetic conditioning based on the alternating field method . . . . .	97
D – Thermal method for magnetic conditioning . . . . .	99
E – Guide for the design of inductance measuring coils for newly developed types of cores . . . . .	101

ANNEXES	F – Méthodes d'expression de la variation en fonction de la température . . . . .	106
	G – Méthode d'oscillation amortie pour l'étalonnage des mesures de pertes . . . . .	118
	H – Méthode de transmission pour l'étalonnage des mesures de pertes . . . . .	124
	J – Exemples de circuits pour la mesure des pertes totales dans le noyau . . . . .	128
	K – Exemple d'un circuit pour la mesure de la distorsion en troisième harmonique (méthode à basse impédance) . . . . .	134
	L – Méthodes de mesure de l'inductance en présence d'un champ magnétique statique . .	136
	M – Exemples de circuits pour les mesures en impulsion . . . . .	140
	N – Exemples de circuits pour la mesure de la perméabilité d'amplitude (effective) . . . .	142

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60367-1:1982

Without watermark

APPENDICES F – Methods of expressing temperature dependence . . . . .	107
G – Damped oscillation method for loss measurement calibration . . . . .	119
H – Transmission method for loss measurement calibration . . . . .	125
J – Examples of circuits for measuring total core loss . . . . .	129
K – Example of a circuit for measuring third harmonic distortion (low impedance method) . . . . .	135
L – Methods of inductance measurement in the presence of a static magnetic field . . . . .	137
M – Examples of circuits for pulse measurements . . . . .	141
N – Examples of circuits for measuring (effective) amplitude permeability . . . . .	143

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60367-1:1982

Without a watermark

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## 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.

Un premier projet concernant les méthodes de mesure de la variabilité fut discuté lors des réunions tenues à Baden-Baden en 1965 et à Tel-Aviv en 1966. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif, document 51(Bureau Central)72, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en novembre 1967. Les observations reçues furent examinées lors de la réunion tenue à Londres en 1968, où il fut convenu que le contenu technique du document ferait partie d'une publication contenant toutes les méthodes de mesures pour les noyaux en ferrite des transformateurs et bobines d'inductance destinés aux télécommunications. Ceci demanda un réarrangement du texte qui, y compris quelques modifications acceptées à cette réunion, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en novembre 1969, comme document 51(Bureau Central)89.

Lors de la réunion tenue à Washington en 1970, une autre discussion eut lieu sur la coordination des diverses normes dans le domaine des noyaux pour les transformateurs et bobines d'inductance. Il fut alors décidé que les méthodes de mesure seraient publiées comme première partie d'une publication de la CEI qui contiendrait dans sa deuxième partie les directives combinées pour l'établissement des spécifications, c'est-à-dire les textes révisés des Publications 218 de la CEI: Directives pour l'établissement des spécifications des noyaux en oxydes ferromagnétiques pour transformateurs accordés et bobines d'inductance destinés aux télécommunications, et 219: Directives pour l'établissement des spécifications des noyaux en oxydes ferromagnétiques pour transformateurs à large bande destinés aux télécommunications.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de cette première partie:

Allemagne	Etats-Unis d'Amérique	Suède
Australie	France	Tchécoslovaquie
Autriche	Israël	Turquie
Belgique	Italie	Union des Républiques
Canada	Japon	Socialistes Soviétiques
Danemark	Royaume-Uni	

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.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## 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 Ferrite Materials.

A first draft on measuring methods for variability was discussed at meetings held in Baden-Baden in 1965 and in Tel-Aviv in 1966. As a result of this latter meeting, a final draft, Document 51(Central Office)72, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in November 1967. The comments received were discussed at the meeting held in London in 1968, where it was agreed that the substance of the document should form part of a publication containing all measuring methods for ferrite transformer and inductor cores for telecommunications. This required a re-arrangement of the text which, including some amendments agreed at the meeting, was submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in November 1969, as Document 51(Central Office)89.

At the meeting held in Washington in 1970, a further discussion took place on the co-ordination between the various standards in the field of transformer and inductor cores. It was therefore decided that the measuring methods should be issued as Part 1 of an IEC publication which should contain in Part 2 the combined guides for the drafting of performance specifications, i.e. the revised texts of IEC Publications 218: Guide for the Drafting of Performance Specifications for Cores of Tuned Transformers and Inductors of Ferromagnetic Oxides for Telecommunication, and 219: Guide for the Drafting of Performance Specifications for Cores of Broad-band Transformers of Ferromagnetic Oxides for Telecommunication.

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

Australia	France	Turkey
Austria	Germany	Union of Soviet
Belgium	Israel	Socialist Republics
Canada	Italy	United Kingdom
Czechoslovakia	Japan	United States of America
Denmark	Sweden	

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.

Les Comités nationaux des 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 le paragraphe 11.2 fut discuté lors de la réunion tenue à Stockholm en 1978. A la suite de cette réunion, un projet, document 51(Bureau Central)226, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en octobre 1979.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication du paragraphe 11.2:

Afrique du Sud (République d')	Espagne	Pays-Bas
Allemagne	France	Royaume-Uni
Belgique	Hongrie	Suède
Bulgarie	Italie	Turquie
Danemark	Japon	Union des Républiques
Egypte	Nouvelle-Zélande	Socialistes Soviétiques

Un premier projet concernant l'article 10 fut établi par le Secrétariat comme complément à la Publication 218 et le sujet fut discuté lors des réunions tenues à Londres en 1968 et à Washington en 1970. Pendant cette dernière réunion, on décida de diviser le texte de ce document en deux parties: l'une concernant les caractéristiques à inclure dans la Publication 218 et l'autre concernant les méthodes de mesure comme complément à la Publication 367-1. Par suite de cette décision, un projet définitif de cette deuxième partie, document 51(Bureau Central)107, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1971.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'article 10:

Allemagne	Etats-Unis d'Amérique	Suède
Australie	France	Suisse
Belgique	Israël	Turquie
Canada	Italie	Union des Républiques
Corée (République démocratique populaire de)	Pays-Bas	Socialistes Soviétiques
Danemark	Portugal	
	Royaume-Uni	

Un premier projet concernant l'article 12 fut établi par le Secrétariat et le sujet fut discuté lors des réunions tenues à Londres en 1968 et à Washington en 1970. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif, document 51(Bureau Central)102, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en janvier 1971.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'article 12:

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

Un premier projet concernant l'article 13 fut établi par le Groupe de Travail 6 du CE 51; le sujet 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 définitif, document 51(Bureau Central)126, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1972.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'article 13:

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

Un premier projet concernant l'article 14 fut établi par le Groupe de Travail 6 du CE 51; le sujet 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 définitif, document 51(Bureau Central)129, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mars 1972. Des modifications, document 51(Bureau Central)144, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux suivant la Procédure des Deux Mois en mai 1973.

The National Committees of 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 Sub-clause 11.2 was discussed at the meeting held in Stockholm in 1978. As a result of this meeting a draft, Document 51(Central Office)226, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1979.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication of Sub-clause 11.2:

Belgium	Hungary	Spain
Bulgaria	Italy	Sweden
Denmark	Japan	Turkey
Egypt	Netherlands	Union of Soviet
France	New Zealand	Socialist Republics
Germany	South Africa (Republic of)	United Kingdom

A first draft concerning Clause 10 was prepared by the Secretariat as a supplement to Publication 218 and the subject was discussed at meetings in London in 1968 and in Washington in 1970. At this latter meeting, it was decided to split up the contents of this document into a part on characteristics to be included in Publication 218 and a part on measuring methods for inclusion in Publication 367-1. As a result of this decision, a final draft of the second part, Document 51(Central Office)107, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1971.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication of Clause 10:

Australia	Italy	Turkey
Belgium	Korea (Democratic People's Republic of)	Union of Soviet
Canada	Netherlands	Socialist Republics
Denmark	Portugal	United Kingdom
France	Sweden	United States of America
Germany	Switzerland	
Israel		

A first draft concerning Clause 12 was prepared by the Secretariat and the subject was discussed at the meetings held in London in 1968 and in Washington in 1970. As a result of this latter meeting, a final draft, Document 51(Central Office)102, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1971.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication of Clause 12:

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

A first draft concerning Clause 13 was prepared by Working Group 6 of TC 51 and the subject was discussed at meetings held in London in 1968, in Washington in 1970 and in Leningrad in 1971. As a result of this latter meeting, a final draft, Document 51(Central Office)126, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1972.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication of Clause 13:

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

A first draft concerning Clause 14 was prepared by Working Group 6 of TC 51 and the subject was discussed at meetings held in London in 1968, in Washington in 1970 and in Leningrad in 1971. As a result of this latter meeting, a final draft, Document 51(Central Office)129, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in March 1972. Amendments, Document 51(Central Office)144, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in May 1973.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'article 14:

Allemagne	Israël	Tchécoslovaquie
Belgique	Japon	Turquie
Canada	Pays-Bas	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Danemark	Roumanie	Yougoslavie
Egypte	Royaume-Uni	
Etats-Unis d'Amérique	Suède	
France	Suisse	

Un premier projet concernant l'article 15 fut discuté lors des réunions tenues à Leningrad en 1971 et à Zurich en 1974. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 51(Bureau Central)174, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juillet 1975. Des modifications, documents 51(Bureau Central)193 et 208, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en novembre 1977.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'article 15:

Afrique du Sud (République d')	Espagne	Pologne
Allemagne	Etats-Unis d'Amérique	Roumanie
Australie	France	Royaume-Uni
Autriche	Hongrie	Suède
Belgique	Israël	Suisse
Canada	Italie	Turquie
Danemark	Japon	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Egypte	Pays-Bas	

Des projets concernant l'article 16 furent discutés lors des réunions tenues à La Haye en 1975, à Budapest en 1977 et à Stockholm en 1978. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 51(Bureau Central)237, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en novembre 1980.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'article 16:

Afrique du Sud (République d')	Etats-Unis d'Amérique	Suède
Allemagne	Israël	Suisse
Belgique	Japon	Turquie
Bulgarie	Nouvelle-Zélande	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Egypte	Pologne	
Espagne	Royaume-Uni	

Un premier projet concernant l'article 17 fut discuté lors de la réunion tenue à Stockholm en 1978. A la suite de cette réunion, un projet, document 51(Bureau Central)224, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en août 1979. Des modifications, document 51(Bureau Central)238, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en janvier 1981.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'article 17:

Afrique du Sud (République d')	Etats-Unis d'Amérique	Pologne
Allemagne	France	Royaume-Uni
Belgique	Hongrie	Suède
Danemark	Italie	Turquie
Egypte	Japon	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Espagne	Pays-Bas	

Des projets concernant l'annexe B furent discutés lors de la réunion tenue à Londres en 1968. A la suite de cette réunion, un projet définitif, document 51(Bureau Central)80, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1969.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'annexe B:

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

Des projets concernant l'annexe D furent discutés lors de la réunion tenue à Londres en 1968. A la suite de cette réunion, un projet définitif, document 51(Bureau Central)79, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1969.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'annexe D:

Australie	Israël	Suède
Belgique	Italie	Tchécoslovaquie
Canada	Japon	Turquie
Danemark	Roumanie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Etats-Unis d'Amérique	Royaume-Uni	

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication of Clause 14:

Belgium	Israel	Union of Soviet
Canada	Japan	Socialist Republics
Czechoslovakia	Netherlands	United Kingdom
Denmark	Romania	United States of America
Egypt	Sweden	Yugoslavia
France	Switzerland	
Germany	Turkey	

A first draft concerning Clause 15 was discussed at the meetings in Leningrad in 1971 and in Zurich in 1974. As a result of the latter meeting a draft, Document 51(Central Office)174, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1975. Amendments, Documents 51(Central Office)193 and 208, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in November 1977.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication of Clause 15:

Australia	Hungary	Spain
Austria	Israel	Sweden
Belgium	Italy	Switzerland
Canada	Japan	Turkey
Denmark	Netherlands	Union of Soviet
Egypt	Poland	Socialist Republics
France	Romania	United Kingdom
Germany	South Africa (Republic of)	United States of America

Drafts concerning Clause 16 were discussed at the meetings held in The Hague in 1975, in Budapest in 1977 and in Stockholm in 1978. As a result of this latter meeting, a draft, Document 51(Central Office)237, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in November 1980.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication of Clause 16:

Belgium	New Zealand	Turkey
Bulgaria	Poland	Union of Soviet
Egypt	South Africa (Republic of)	Socialist Republics
Germany	Spain	United Kingdom
Israel	Sweden	United States of America
Japan	Switzerland	

A first draft concerning Clause 17 was discussed at the meeting held in Stockholm in 1978. As a result of this meeting a draft, Document 51(Central Office)224, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1979. Amendments, Document 51(Central Office)238, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in January 1981.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication of Clause 17:

Belgium	Italy	Sweden
Denmark	Japan	Turkey
Egypt	Netherlands	Union of Soviet
France	Poland	Socialist Republics
Germany	South Africa (Republic of)	United Kingdom
Hungary	Spain	United States of America

Drafts concerning Appendix B were discussed at the meeting held in London in 1968. As a result of this meeting, a final draft, Document 51(Central Office)80, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1969.

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

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

Drafts concerning Appendix D were discussed at the meeting held in London in 1968. As a result of this meeting, a final draft, Document 51(Central Office)79, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1969.

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

Australia	Israel	Turkey
Belgium	Italy	Union of Soviet
Canada	Japan	Socialist Republics
Czechoslovakia	Romania	United Kingdom
Denmark	Sweden	United States of America

Un premier projet concernant l'annexe E\* fut discuté lors des réunions tenues à Washington en 1970, à Leningrad en 1971 et à Zurich en 1974. A la suite de cette 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 Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'annexe E:

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	

Des projets concernant l'annexe F\*\* furent discutés lors des réunions tenues à Londres en 1968 et à Washington en 1970. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif, document 51(Bureau Central)87, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en octobre 1969.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'annexe F:

Allemagne	Israël	Tchécoslovaquie
Australie	Italie	Turquie
Belgique	Japon	Union des Républiques
Etats-Unis d'Amérique	Royaume-Uni	Socialistes Soviétiques
France	Suède	
Iran	Suisse	

Le Comité national danois a voté contre la proposition car il n'accepte pas que l'on adopte le même symbole littéral pour deux paramètres différents.

La présente norme constitue la deuxième édition de la Publication 367-1.

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

- Publications n<sup>os</sup> 51: Recommandations pour les appareils de mesure électriques indicateurs à action directe et leurs accessoires.
- 68: Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique.
- 68-2-1: Deuxième partie: Essais – Essais A: Froid.
- 68-2-2: Essais B: Chaleur sèche.
- 205: Calculs des paramètres effectifs des pièces ferromagnétiques.
- 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.

\* A l'origine, annexe J.

\*\* A l'origine, annexe E.

A first draft concerning Appendix E\* 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 National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication of Appendix E:

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	

Drafts concerning Appendix F\*\* were discussed at the meetings held in London in 1968 and in Washington in 1970. As a result of this latter meeting, a final draft, Document 51(Central Office)87, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1969.

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

Australia	Israel	Turkey
Belgium	Italy	Union of Soviet
Czechoslovakia	Japan	Socialist Republics
France	Sweden	United Kingdom
Germany	Switzerland	United States of America
Iran		

The Danish National Committee voted against the proposal because it could not accept the use of the same letter symbol for two different parameters.

This standard constitutes the second edition of Publication 367-1.

*Other IEC publications quoted in this standard:*

- Publications Nos. 51: Recommendations for Direct Indicating Electrical Measuring Instruments and their Accessories.
- 68: Basic Environmental Testing Procedures.
- 68-2-1: Part 2: Tests – Tests A: Cold.
- 68-2-2: Tests B: Dry heat.
- 205: Calculation of the Effective Parameters of Magnetic Piece Parts.
- 317-2: Specifications for Particular Types of Winding Wires, Part 2: Heat or Solvent Bonding Self-fluxing Enamelled Round Copper Wires.

\*Originally, Appendix J.

\*\*Originally, Appendix E.

# NOYAUX POUR BOBINES D'INDUCTANCE ET TRANSFORMATEURS DESTINÉS AUX TÉLÉCOMMUNICATIONS

## Première partie: Méthodes de mesure

### SECTION UN – GÉNÉRALITÉS

#### 1. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux circuits magnétiques, fabriqués principalement à partir d'oxydes magnétiques ou de poudres métalliques, utilisés dans les bobines d'inductance et les transformateurs destinés au matériel de télécommunications et aux dispositifs électroniques basés sur des techniques analogues.

Quelques-unes des méthodes décrites dans la présente norme peuvent aussi convenir aux circuits magnétiques utilisés dans d'autres composants.

#### 2. Objet

Donner des directives pour l'établissement de telles parties des spécifications des circuits magnétiques qui se rapportent aux méthodes de mesure pour les caractéristiques magnétiques et électriques des noyaux. La présente norme se limite aux principes généraux à suivre pour les diverses méthodes de mesure possibles et montre les facteurs qu'il faut considérer lorsqu'on veut décrire une méthode de mesure à inclure dans une spécification.

Cette première partie a été divisée en trois sections correspondant à l'utilisation des diverses méthodes de mesure, à savoir:

- section un: Généralités, qui comprend les indications générales et les méthodes normalement utilisées en combinaison avec les méthodes de mesure incluses dans les sections deux et trois;
- section deux: Méthodes de mesure communes, qui comprend les méthodes de mesure utilisées dans la plupart des cas pour les noyaux de bobines d'inductance et de transformateurs;
- section trois: Méthodes de mesure spécialisées, qui comprend les méthodes destinées à fournir des informations et utilisées seulement dans des cas spéciaux dans une spécification de noyau.

*Note.* – Toutes les formules dans la présente norme s'appliquent aux unités fondamentales du SI. Lorsqu'on utilise des multiples ou sous-multiples, la puissance de 10 appropriée doit être introduite.

Les symboles normalisés suivants sont utilisés dans ces formules:

$t$	= temps
$\theta$	= température
$L$	= inductance
$\mu_0$	= constante magnétique, $0,4 \pi \times 10^{-6}$ H/m
$\mu_r$	= perméabilité relative*
$\mu_i$	= perméabilité initiale
$\mu_e$	= perméabilité effective = $L C_1 / \mu_0 N^2$
$\mu_{rev}$	= perméabilité réversible
$N$	= nombre de spires de la bobine de mesure
$C_1$ et $C_2$	= coefficients du noyau définis dans la Publication 205 de la CEI: Calcul des paramètres effectifs des pièces ferromagnétiques
$A_e$	= surface effective de la transversale
$\omega$	= pulsation = $2 \pi \times$ fréquence du courant de mesure

\* Dans le cas des versions qualifiées de perméabilité, comme la perméabilité initiale  $\mu_i$ , on se réfère à la quantité relative, sauf indication contraire.

## CORES FOR INDUCTORS AND TRANSFORMERS FOR TELECOMMUNICATIONS

### Part 1: Measuring methods

#### SECTION ONE – GENERAL

#### 1. Scope

This standard applies to magnetic cores, mainly made of magnetic oxides or metallic powders, used in inductors and transformers for telecommunication equipment and electronic devices employing similar techniques.

Some of the methods described in this standard may also be suitable for magnetic cores used in other components.

#### 2. Object

To give guidance for the drafting of those parts of specifications for magnetic cores that are concerned with measuring methods for magnetic and electric core properties. This standard is limited to the general principles to be followed for various possible test methods and it sets out the factors to be taken into account when deciding on the description of the test method to be included in the specification.

In accordance with the use made of the measuring methods, this Part 1 has been sub-divided into three sections as follows:

- Section One: General, including general stipulations and methods generally used in combination with measuring methods included in Sections Two and Three;
- Section Two: Common measuring methods, including those methods which are used for important parts of inductor and transformer core measurements;
- Section Three: Specialized measuring methods, including methods intended for information purposes and used only in special cases for specification purposes.

*Note.* – All formulae in this standard use basic SI units. When multiples or sub-multiples are used, the appropriate power of 10 shall be introduced.

The following standard symbols are used in these formulae:

$t$	= time
$\theta$	= temperature
$L$	= self inductance
$\mu_0$	= magnetic constant, $0,4 \pi \times 10^{-6}$ H/m
$\mu_r$	= relative permeability*
$\mu_i$	= initial permeability
$\mu_e$	= effective permeability = $L C_1 / \mu_0 N^2$
$\mu_{rev}$	= reversible permeability
$N$	= number of turns of measuring coil
$C_1$ and $C_2$	= core factors defined in IEC Publication 205: Calculation of the Effective Parameters of Magnetic Piece Parts
$A_e$	= effective cross-sectional area
$\omega$	= angular frequency = $2 \pi \times$ frequency of measuring current

\*In the case of qualified versions of permeability, such as initial permeability  $\mu_i$ , the relative quantity is meant, unless otherwise stated.

### 3. Conditions d'ambiance

#### 3.1 Généralités

Normalement, les noyaux doivent être soumis à un conditionnement magnétique conformément à l'article 6, au moins 24 h avant le commencement des mesures.

Pendant toute la période de mesure, le circuit doit être protégé contre les chocs et vibrations mécaniques et contre les perturbations magnétiques. Pendant les variations de température, on doit éviter la condensation sur la bobine.

#### 3.2 Température ambiante

Sauf spécification contraire, l'ensemble de la mesure doit être fait à une température située dans la plage des conditions atmosphériques normales d'essai conforme à la Publication 68 de la CEI : Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique. Pendant toute la période de mesure, la température ne doit, cependant, pas varier au point d'exercer un effet appréciable sur le résultat de la mesure. Dans certains cas, cela nécessite un contrôle de la température de la chambre.

Les noyaux assemblés avec la bobine de mesure et les dispositifs de serrage doivent rester dans cette atmosphère pendant un temps suffisant pour obtenir l'équilibre thermique. La température pendant la mesure doit être notée.

*Note.* – Cela veut dire que les mesures peuvent être faites à une température quelconque dans la plage de 15°C à 35°C et que, dans le cas où la limite spécifiée pour la quantité mesurée est dépassée, il est permis de répéter la mesure de préférence à  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ou à une des autres températures d'arbitrage ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ , ou  $27 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

### 4. Précautions générales pour les méthodes comprenant les mesures de la perméabilité

#### 4.1 Paramètres considérés

La perméabilité effective d'un noyau dépend de nombreux facteurs parmi lesquels se trouvent le passé magnétique, le temps, la température, l'intensité du champ magnétique, la pression mécanique, la fréquence du courant de mesure, la géométrie du noyau et la géométrie et la position de la bobine de mesure. Quelques méthodes données dans la présente norme ne concernent qu'un de ces facteurs à la fois, par exemple le temps ou la température, et pendant ces mesures les précautions doivent tendre à éliminer l'influence de tous les autres facteurs. Par exemple, un dispositif de serrage doit être tel que la pression reste constante dans le temps et avec la température de manière que le résultat de la mesure ne soit pas influencé par la variation de la pression.

#### 4.2 Relation avec la pratique

Les conditions de mesures doivent être choisies de manière que le résultat mesuré soit apte à prédire le fonctionnement d'un noyau dans les conditions pratiques. Cela n'implique pas que toutes les conditions doivent correspondre à celles utilisées réellement en pratique.

#### 4.3 Montage des circuits magnétiques formés de plus d'une partie

Pour les circuits magnétiques formés de plus d'une partie et qui sont assemblés autour de la bobine de mesure, on doit utiliser un dispositif de serrage pendant toute la mesure. Ce dispositif de serrage doit être apte à :

- distribuer la force de serrage uniformément sur les surfaces de contact, sans introduire des tensions de flexion dans les noyaux;
- tenir les parties du circuit rigidement en position l'une par rapport à l'autre;
- dépasser transitoirement la force de serrage d'environ 10% pendant la fermeture afin d'éliminer les faibles irrégularités entre les surfaces de contact nettoyées;

### 3. Environmental conditions

#### 3.1 General

Normally, the cores are magnetically conditioned in accordance with Clause 6, not less than 24 h before the measurements start.

During the whole procedure, the core shall be protected against mechanical shock and vibration and against magnetic disturbances. Condensation on measuring windings, which may occur at changing temperature, should be avoided.

#### 3.2 Ambient temperature

Unless otherwise specified, the whole measurement procedure shall take place at a temperature within the range of standard atmospheric conditions for testing according to IEC Publication 68: Basic Environmental Testing Procedures. During the whole period of the measurement, however, the temperature shall not vary to such an extent as to have an appreciable effect on its results. In some cases, this may necessitate the use of a temperature controlled chamber.

The assembled cores with measuring coil and clamping devices shall be kept in this environment for a sufficient time to reach thermal equilibrium. The temperature during measurement shall be stated.

*Note.* – This clause means that the measurements may be made at any temperature within the range of 15°C to 35°C but that, if the specified limits are exceeded, it is allowed to repeat the measurements, preferably at  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  or at one of the other standard temperatures for reference tests:  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ , or  $27 \pm 1^\circ\text{C}$ .

### 4. General precautions for methods involving permeability measurements

#### 4.1 Parameters involved

The effective permeability of a core depends upon many factors, among which are the magnetic history, time, temperature, field strength, mechanical pressure, frequency of measuring current, core geometry and geometry and position of the measuring coil. Various methods described in this standard single out one of these factors at a time, e.g. time or temperature, and the precautions during these measurements should be directed towards eliminating the influence of all other factors. For example, a clamping device should be such that the pressure remains constant in time and with temperature, so that the measuring result is not influenced by changing pressure.

#### 4.2 Relation to practice

The measuring conditions shall be so chosen that the measured results are suitable for predicting the performance of the core under practical circumstances. This does not imply that all conditions have to correspond to those prevailing in practice.

#### 4.3 Mounting of cores consisting of more than one part

For cores consisting of more than one part and which are assembled around the measuring coil, a clamping device shall be used throughout the measurements. This clamping device shall be able to:

- distribute the clamping force uniformly over the contact surfaces, without introducing bending stresses in the core;
- hold the core parts rigidly in position relative to each other;
- give a transient overforce of about 10% when being closed, in order to break down fine irregularities between the cleaned contact surfaces;

- exercer la force de serrage spécifiée  $\pm 5\%$ ;
- maintenir la force constante à  $\pm 1\%$  pendant la période totale de mesure.

*Note.* – Il est considéré comme suffisant de maintenir la force constante à  $\pm 1\%$  lorsque la force de serrage spécifiée est choisie dans la portion plate de la courbe de la perméabilité en fonction de la force. Sinon, une tolérance plus étroite peut être requise.

Ces circuits doivent être montés conformément aux instructions suivantes:

Les surfaces de contact seront contrôlées pour les détériorations et la propreté. Les circuits endommagés ne doivent pas être utilisés. Les surfaces de contact doivent être nettoyées par un moyen non abrasif, par exemple en frottant doucement sur une peau de chamois sèche.

Les particules de poussière doivent être éloignées en soufflant avec du gaz comprimé pur et sec. Les surfaces de contact ne doivent jamais être touchées avec les doigts nus. Les parties d'un circuit doivent alors être assemblées autour de la bobine de mesure, cette dernière étant fixée en position sur le noyau par des moyens appropriés, par exemple un anneau de matériau expansé. Les parties du circuit sont centrées et le circuit placé dans le dispositif de serrage. La force de serrage spécifiée dans la spécification particulière doit alors être appliquée. Les circuits montés doivent rester dans les conditions ambiantes spécifiées (voir l'article 3) pendant un temps suffisant pour que la variation éventuelle de la perméabilité relative, causée par le serrage, devienne négligeable.

## 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.

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.

- exert a specified clamping force  $\pm 5\%$ ;
- keep the force constant within  $\pm 1\%$  during the total period of the measurement.

*Note.* – Keeping the force within  $\pm 1\%$  is considered sufficient when the specified clamping force is chosen in the flat portion of the curve of permeability versus force. Otherwise closer tolerances may be required.

The mounting of such cores shall be done in accordance with the following instructions:

The contact surfaces shall be inspected for damage and cleanliness. Damaged cores shall not be used. When necessary, the contact surfaces shall be cleaned by non-abrasive means, e.g. by rubbing gently on a dry wash-leather.

Dust particles shall be blown off with clean dry compressed gas. The contact surfaces shall never be touched with the bare fingers. The core parts shall then be assembled around the measuring coil, the latter being locked in position with respect to the core by suitable means, e.g. a foam washer. The core parts are centred and the core placed in the clamping device. The clamping force specified in the relevant specification shall then be applied. The clamped cores shall be kept under the specified environmental conditions (see Clause 3) for a time sufficient to allow any variation of effective permeability with time due to clamping to become negligible.

## 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 an 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.

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) 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.

## 6. Conditionnement magnétique

### 6.1 Objet

Obtenir un état magnétique bien défini et reproductible d'un noyau avant de faire les mesures.

### 6.2 Principes des méthodes

Il y a deux méthodes principales:

- 1) la méthode électrique dans laquelle les échantillons sont soumis à un champ magnétique alternatif de grandeur suffisante, dont l'amplitude décroît graduellement jusqu'à zéro;
- 2) la méthode thermique dans laquelle les spécimens sont portés au-dessus du point de Curie.

### 6.3 Processus de la méthode électrique

La crête du champ doit porter le matériau bien au-dessus du coude de la courbe d'aimantation et la réduction de l'amplitude doit provoquer deux inversions du flux dans le noyau pour chaque cycle complet.

Deux possibilités existent:

- 1) Un courant alternatif décroissant traverse la bobine de mesure située sur le spécimen. La décroissance du courant peut être:
  - a) linéaire, par exemple par un potentiomètre. La réduction de l'amplitude doit s'étendre au moins sur 50 périodes;
  - b) exponentielle, par exemple par une décharge de condensateur. Le rapport de deux crêtes de courant consécutives dans le même sens doit être au moins de 0,78 dans ce cas.

La bobine ne doit pas chauffer de façon sensible pendant le conditionnement.

- 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 shall be avoided. Connections between the measuring coil or other coupling device and the measuring instrument shall 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.

## 6. **Magnetic conditioning**

### 6.1 *Object*

To arrive at a well defined and reproducible magnetic state of a core before the measurements are made.

### 6.2 *Principles of the methods*

There are two main methods:

- 1) the electrical method in which the specimen is subjected to an alternating magnetic field of sufficient magnitude, of which the amplitude is gradually reduced to zero;
- 2) the thermal method in which the specimen is taken above the Curie point.

### 6.3 *Procedure for the electrical method*

The initial peak of the field strength shall take the core well above the knee of the magnetization curve and during the reduction of amplitude there shall be two flux reversals in the core for each complete cycle.

There are two possibilities:

- 1) A decreasing alternating current is passed through the measuring coil on the specimen. The current decrease may be:
  - a) linear, e.g. by a potentiometer. The amplitude reduction shall then extend over not less than 50 cycles;
  - b) exponential, e.g. by a capacitor discharge. The ratio of two consecutive current peaks in the same direction shall be not less than 0.78 in that case.

The coil shall not be appreciably heated by the current during conditioning.

Pour les détails supplémentaires de ces méthodes, voir les annexes A et B.

2) Le spécimen est soumis à un champ alternatif dans l'entrefer d'un électro-aimant.

Pour les détails supplémentaires de cette méthode, voir l'annexe C.

#### 6.4 *Processus de la méthode thermique*

Le noyau doit être chauffé à une vitesse spécifiée de variation de température et maintenu pendant environ 40 min à une température qui dépasse d'environ 25°C le point de Curie. Le refroidissement doit aussi être fait à une vitesse spécifiée de variation de température. Pour les détails supplémentaires, voir l'annexe D.

### 7. **Mesure de l'inductance**

#### 7.1 *Objet*

Fournir des instructions générales pour la mesure de l'inductance d'un circuit de bobine d'inductance ou de transformateur, sans entrer dans les détails de la méthode, qui dépendent de l'instrument électrique utilisé pour la mesure.

Il faut distinguer deux objets de mesure:

- 1) obtenir une mesure de la valeur absolue du paramètre inductif du noyau;
- 2) obtenir une mesure de la variation du paramètre inductif dans certaines conditions.

#### 7.2 *Moyen de couplage*

Normalement on utilise une bobine de mesure, mais en principe toute ligne coaxiale, cavité ou autre dispositif approprié produisant l'interaction nécessaire entre le matériau magnétique et le signal électromagnétique, peut aussi être utilisé.

Pour la mesure d'un tore avec une bobine, les spires de la bobine de mesure doivent être réparties uniformément de manière à réduire la capacité et le champ de fuite pour obtenir une mesure suffisamment précise.

Pour les mesures sur des noyaux s'assemblant avec une bobine, la forme de la bobine de mesure doit correspondre à celle utilisée dans les applications normales du noyau et son influence sur la variation de l'inductance à mesurer doit être négligeable.

Sauf spécification contraire, la bobine d'essai complète avec sa carcasse ou son enrobage, ou les deux, doit être positionnée coaxialement sur la jambe qui la supporte, et le côté où commence le bobinage doit être amené en contact avec le noyau sous une légère pression à l'extrémité de cette jambe de la façon suivante:

- pour un noyau symétrique, l'assemblage de la bobine devra être mis en contact avec le noyau d'un côté ou de l'autre;
- pour un noyau symétrique excepté l'entrefer, l'assemblage de la bobine devra être mis en contact avec la moitié du noyau qui contient la plus faible proportion de l'entrefer.

Une des faces de la bobine devra être marquée afin de définir son orientation. La bobine devra être maintenue en position durant toute la mesure afin d'obtenir la reproductibilité maximale dans les mesures.

La spécification particulière doit donner tous les détails au sujet de la construction et de la position de la bobine. Des directives pour la réalisation de bobines de mesures d'inductance sont données à l'annexe E.

Further details on these methods are given in Appendices A and B.

- 2) The specimen is passed through the alternating field in the air-gap of an electromagnet.

Further details on this method are given in Appendix C.

#### 6.4 Procedure for the thermal method

The core shall be heated at a specified rate of temperature change and maintained for about 40 min at a temperature approximately 25°C in excess of the Curie point. Cooling shall also take place at a specified rate. For further details, see Appendix D.

## 7. Inductance measurement

### 7.1 Object

To provide general instructions for the measurement of inductance of inductor and transformer windings, without going into details of the method, which depend upon the electrical instrument used for the measurement.

Two measurement purposes should be distinguished:

- 1) to obtain a measurement of the absolute value of the inductance parameter of the core;
- 2) to obtain a measurement of the dependence of the inductance parameter under certain conditions.

### 7.2 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.

For measurement on toroids using coils, the turns of the measuring coil shall be distributed in such a way as to keep both the stray capacitance and the stray field as low as necessary for sufficiently accurate measurement.

For measurements on cores which assemble around a coil, the shape of the measuring coil shall correspond to that of the coils used for normal application of the core and its influence on the variation of the inductance to be measured shall be negligible.

Unless otherwise specified, the test coil complete with coil former or encapsulation, or both, shall be positioned coaxial to the limb which it embraces, and the side of the coil at which the start of the winding is located shall be lightly pressed into contact with the core at one end of this limb as follows:

- for a symmetrical core, the coil assembly shall contact the core at either one end or the other;
- for a core that is symmetrical except for an air-gap, the coil assembly shall make end contact to that half of the core that contains the least proportion of the air-gap.

One of the coil faces shall be marked so as to define its orientation. The coil shall be kept in the defined position during the whole measurement in order to obtain the maximum reproducibility of the measurement.

Full details of the coil construction and position shall be given in the relevant specification. Guidance for the design of inductance measuring cores is given in Appendix E.

### 7.3 Mesure absolue

On peut utiliser tout appareil de mesure convenable dont la précision est compatible avec la tolérance spécifiée, compte tenu de la reproductibilité des autres éléments de la méthode de mesure.

La fréquence du courant de mesure doit être suffisamment basse afin d'éviter l'influence de la capacité de la bobine de mesure sur le résultat de la mesure. Doubler la fréquence ne doit pas produire un effet appréciable. Pour la mesure de l'inductance correspondant à la perméabilité initiale, l'induction magnétique doit être faible, c'est-à-dire telle qu'une valeur double ne provoque qu'une variation négligeable de la valeur mesurée. Si nécessaire, le résultat peut être corrigé par extrapolation linéaire des mesures à inductions basses.

La fréquence du courant de mesure et la valeur de crête de l'induction effective doivent être notées.

*Note.* – La valeur de crête de l'induction effective  $\hat{B}_e$  dans un noyau se calcule comme suit:

$$\hat{B}_e = \frac{U\sqrt{2}}{\omega N A_e}$$

où:

$U$  = valeur efficace de la tension sinusoïdale appliquée à la bobine de mesure

### 7.4 Mesure relative

Les mêmes détails que pour la mesure absolue sont applicables, excepté que la précision absolue de l'instrument de mesure n'est pas importante pourvu que la variation relative de l'inductance  $\Delta L/L$  puisse être déterminée avec la précision exigée dans la partie des régions de mesure utilisées. Une limite supérieure pratique pour la valeur de crête de l'induction effective dans une partie quelconque du noyau est de 0,25 mT et cette induction ne doit pas être appliquée pendant plus de 1 min pour chaque mesure.

Lorsqu'on utilise une méthode de variation de fréquence, il faut être assuré que la fréquence est suffisamment basse pour correspondre à la portion plate de la caractéristique du matériau donnant la perméabilité en fonction de la fréquence et pour éviter une influence appréciable de la distribution du courant dans la bobine de mesure, causée par l'effet Foucault.

La fréquence du courant de mesure (approximative) et l'induction magnétique doivent être notées.

## SECTION DEUX – MÉTHODES DE MESURE COMMUNES

### 8. Désaccommodation

#### 8.1 Objet

Évaluer le changement en fonction du temps de la perméabilité d'un noyau.

*Notes 1.* – Les deux composantes de la perméabilité complexe présentent de la désaccommodation mais dans la présente norme la composante réelle est seule considérée.

2. – On peut utiliser soit la désaccommodation soit le facteur de désaccommodation pour décrire la variation en fonction du temps. Voir aussi le paragraphe 8.6.

#### 8.2 Principe de la méthode

Le noyau est soumis au conditionnement magnétique; l'inductance ou une autre grandeur correspondant à la perméabilité initiale est mesurée à deux moments spécifiés après le conditionnement magnétique. Le facteur de désaccommodation (ou la désaccommodation) se calcule à partir de la différence entre les valeurs mesurées.

*Note.* – Normalement, la désaccommodation décroît avec l'induction croissante; elle est par suite généralement donnée pour des valeurs basses de l'induction.

### 7.3 Absolute measurement

Any suitable measuring apparatus may be used provided the accuracy is compatible with the specified tolerance, taking into account the reproducibility of other parts of the measuring method.

The frequency of the measuring current shall be low enough to avoid the influence of the capacitance of the measuring coil on the measured result. Doubling the frequency shall not have an appreciable effect. For measurement of inductance corresponding to initial permeability, the flux density shall be vanishingly low, i.e. of such level that doubling its value causes negligible change in the measured value. If necessary, the result may be corrected by linear extrapolation from measurements at low flux densities.

The frequency of the measuring current and the peak effective flux density shall be stated.

*Note.* – The peak effective flux density  $\hat{B}_e$  in a core is calculated from:

$$\hat{B}_e = \frac{U\sqrt{2}}{\omega N A_e}$$

where:

$U$  = r.m.s. value of the sinusoidal voltage applied to the coil

### 7.4 Relative measurement

The same details apply as for the absolute measurement, except that the absolute accuracy of the measuring instrument is not important as long as the relative inductance variation  $\Delta L/L$  can be determined with the required accuracy over the part of the measuring range(s) used. A practical upper limit for the peak flux density in any core part is 0.25 mT and it shall be applied for not more than 1 min for each measurement.

Where a frequency variation method is used, it shall be ensured that the frequencies are low enough to correspond to the flat portion of the permeability-frequency characteristic of the material, and that appreciable influence of the current distribution due to eddy currents in the measuring coil is avoided.

The (approximate) measuring frequency and the flux density shall be stated.

## SECTION TWO – COMMON MEASURING METHODS

### 8. Disaccommodation

#### 8.1 Object

To evaluate the change of the permeability of a core with time.

*Notes 1.* – Both components of the complex permeability will show disaccommodation but in this standard only the real component is considered.

2. – Either the disaccommodation or the disaccommodation factor may be used to describe the variation with time. See also Sub-clause 8.6.

#### 8.2 Principle of the method

The core is magnetically conditioned; the inductance or other quantity corresponding to initial permeability is measured at two specified times after magnetic conditioning. The disaccommodation factor (or the disaccommodation) is calculated from the difference in the measured values.

*Note.* – The disaccommodation normally decreases with increasing flux density so that it is generally given for low values of flux density.

### 8.3 Echantillons

Pour les mesures on doit utiliser des noyaux pris dans la production normale.

Dans le cas où un circuit est composé de plus d'une pièce, par exemple un circuit en pot, et que la désaccommodation doit être mesurée avec une bobine normale, il est préférable que le seul entrefer soit l'entrefer résiduel des surfaces de contact. Dans le cas d'une série de circuits avec chacun un entrefer différent, il est permis de faire les mesures sur des circuits avec l'entrefer le plus petit de la série.

*Notes 1.* – Dans quelques cas, comme celui des circuits en pot avec trou central, les parties du circuit peuvent être bobinées comme un tore. On peut mesurer la désaccommodation de cette manière après avoir vérifié que les résultats sont raisonnablement similaires ou s'accordent avec les résultats obtenus avec une bobine normale et que de plus la perméabilité initiale le long des lignes magnétiques toroïdales ne diffère pas de façon sensible de la perméabilité initiale dans la direction des lignes magnétiques normales. Cette méthode doit être utilisée avec une grande prudence. Dans le cas où un circuit en pot encoché est bobiné toroïdalement, les parois cylindriques extérieures apportent une contribution négligeable aux lignes magnétiques.

2. – Pour certains matériaux, la désaccommodation varie de façon appréciable dans la période qui suit immédiatement la cuisson. Dans ce cas, la feuille particulière peut spécifier que la mesure de la désaccommodation pour les essais d'homologation ne doit pas se faire pendant une période spécifiée après la fabrication et on doit aussi spécifier à partir de quel instant cette période doit être mesurée.

### 8.4 Dispositif de chronométrage

L'imprécision de chaque mesure de temps ne doit pas dépasser 1%. Dans le cas où le dispositif de chronométrage est démarré par le dispositif du conditionnement magnétique, ce chiffre doit inclure l'imprécision de la technique de démarrage et du dispositif de chronométrage.

*Note.* – En principe, dans le cas d'une méthode électrique, le temps de référence est le moment où l'intensité du champ commence à décroître à partir de la valeur de saturation. Pour des systèmes de conditionnement automatique, comme la méthode de décharge du condensateur et la méthode de l'amplificateur de puissance, le procédé complet de conditionnement magnétique est si court qu'il ne dépasse pas la tolérance du temps de la première mesure.

### 8.5 Processus de mesure

- 1) Le noyau est assemblé avec une bobine de mesure conformément au paragraphe 4.3.
- 2) Le circuit doit être soumis au conditionnement magnétique par une des méthodes de l'article 6. La méthode utilisée et les caractéristiques principales de l'appareil de conditionnement doivent être mentionnées. Dans tous les cas, l'appareil doit indiquer, de façon claire et reproductible, l'instant du conditionnement magnétique puisque ceci détermine le seuil de la mesure du temps et, par conséquent, influence fortement la précision de la mesure de la désaccommodation.
- 3) Deux lectures doivent être prises, conformément au paragraphe 7.4:
  - Pour la méthode électrique, la première 10 min et la seconde 100 min après le conditionnement magnétique.
  - Pour la méthode thermique, la première 24 h et la seconde 48 h après la mesure du temps de référence  $t_0$  qui est défini comme l'instant où, pendant la période de refroidissement, la température atteint une valeur 10°C supérieure à la température de mesure.

On peut utiliser d'autres temps, mais dans le cas de la méthode électrique, la procédure totale ne doit pas prendre plus de 24 h. Le processus de mesure et les conditions climatiques doivent être identiques pour les deux mesures.

### 8.6 Calcul

La désaccommodation  $D$  entre  $t_1$  et  $t_2$  se calcule à partir de la différence entre les deux mesures rapportées à la première lecture. Dans le cas de la mesure de l'inductance, elle se calcule d'après:

$$D = \frac{L_1 - L_2}{L_1}$$

### 8.3 Specimens

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

When the complete core consists of more than one part, e.g. a pot core, and the disaccommodation is to be measured with a normal winding, it is preferable that the only air-gap in the flux path shall be the residual air-gap at the contact surfaces. However, when there is a series of cores each with a different air-gap cut into the flux path it may be permissible to make the measurement on cores with the smallest available air-gap.

*Notes 1.* — In some cases, such as pot cores with centre hole, the core parts can be wound as a toroid. The disaccommodation may be measured in that way after it has been established that the results are reasonably equal to or correlate with the results obtained with a normal winding and, moreover, the initial permeability along the toroidal flux path is not appreciably different from the initial permeability in the direction of the normal flux path. This method should be used with extreme caution. When a slotted pot core is toroidally wound, the outside walls make negligible contribution to the flux path.

2. — For certain materials, the disaccommodation changes appreciably in the period immediately after firing. Where this is the case, the article sheet may specify that disaccommodation measurement for acceptance testing shall not be made within a stated period after manufacture and it shall also state from what instant this period shall be measured.

### 8.4 Timing device

The inaccuracy of any time measurement shall not exceed 1%. In the case where the timing device is started by the magnetic conditioning device, this figure shall include the inaccuracy of both the starting technique and the timing device.

*Note.* — In principle, for an electrical method the reference time shall be the moment when the field strength starts to decrease from the saturation value. For automatic conditioning systems, such as the capacitor discharge and power amplifier method, the whole magnetic conditioning process is so short as to fall within the tolerance of the time to the first measurement.

### 8.5 Measuring procedure

- 1) The core is assembled with a measuring coil in accordance with Sub-clause 4.3.
- 2) The core shall be subjected to magnetic conditioning by one of the methods of Clause 6. The method used shall be stated together with the main characteristics of the conditioning device. In all cases, the instrument shall clearly and reproducibly indicate the moment of magnetic conditioning since this forms the starting point of time measurement and strongly influences the accuracy of disaccommodation measurement.
- 3) Two readings are taken in accordance with Sub-clause 7.4:
  - In the electrical method, the first one 10 min and the second one 100 min after magnetic conditioning.
  - In the thermal method, the first one 24 h and the second one 48 h after measurement reference time  $t_0$  which is defined as the moment when, during the cooling period, the temperature reaches a point 10°C above the measurement temperature.

Other times may be used, but preferably the whole procedure shall not take more than 24 h for the electrical method. The measuring procedure and environmental conditions shall be identical at the two measurements.

### 8.6 Calculation

The disaccommodation  $D$  between  $t_1$  and  $t_2$  is calculated from the difference of the two readings relative to the first reading. In the case of inductance measurement, it is calculated from:

$$D = \frac{L_1 - L_2}{L_1}$$

Le facteur de désaccommodation  $D_F$  se calcule à partir de:

$$D_F = \frac{\mu_0 N^2 (L_1 - L_2)}{C_1 L_1^2 \log_{10} \left( \frac{t_2}{t_1} \right)}$$

où:

$L_1$  = inductance mesurée à  $t_1$  min après le conditionnement magnétique

$L_2$  = inductance mesurée à  $t_2$  min après le conditionnement magnétique

*Note.* — On a trouvé que la désaccommodation est à peu près proportionnelle au logarithme du temps et, pour cette raison, le facteur de désaccommodation est normalement utilisé pour exprimer la variabilité avec le temps. Dans les limites de l'approximation, la désaccommodation d'un circuit avec entrefer peut être calculée à partir du facteur de désaccommodation du matériau par la formule:

$$D = \mu_e D_F \log_{10} \left( \frac{t_2}{t_1} \right)$$

Etant donné les limitations des procédés de fabrication, les propriétés des noyaux de différentes géométries fabriqués à partir des mêmes matériaux peuvent être différentes.

## 9. Variation de la perméabilité en fonction de la température

### 9.1 *Objet*

Evaluer la variation en fonction de la température de la perméabilité d'un noyau.

*Notes 1.* — Les deux composantes de la perméabilité complexe présentent une variabilité avec la température mais dans la présente norme la composante réelle est seule considérée.

2. — Lorsqu'on enregistre simultanément la perméabilité et la température d'un noyau, on obtient une vaste bande de points de mesure. On ne peut caractériser la variation de la perméabilité en fonction de la température avec une précision absolue par un seul nombre que pour une gamme de températures infinitésimale.

Le concept d'un coefficient de température ou d'un facteur de température utilisé dans une gamme de températures finie est désirable. Une valeur pratique permettant de faire les calculs, avec une précision convenable, peut être obtenue quand on choisit convenablement les conditions de mesure et les limites de température dans lesquelles on utilise le coefficient de température ou le facteur de température.

### 9.2 *Principe de la méthode*

La précision exigée de la méthode se répercute sur sa simplicité et sa durée et pour cette raison trois principes de mesure différents sont à distinguer.

*Méthode A:* Le circuit assemblé avec la bobine de mesure est soumis à un cycle de température avec une variation de température très lente. Après un ou plusieurs cycles de stabilisation, la température et l'inductance sont enregistrées de façon continue.

*Méthode B:* Le circuit assemblé avec la bobine de mesure est soumis à un cycle de température avec une variation de température modérée. Après un ou plusieurs cycles de stabilisation, le cycle est interrompu à certaines températures. Pendant chaque interruption, on maintient la température à une valeur constante suffisante pour permettre au circuit d'atteindre l'équilibre thermique avant qu'on fasse la lecture.

*Méthode C:* Le circuit assemblé avec la bobine de mesure est soumis à un cycle de température avec une variation de température modérée. Après un ou plusieurs cycles de stabilisation, le cycle est interrompu à certaines températures. Pendant chaque interruption, on maintient la température à une valeur constante. Après que le circuit a atteint l'équilibre thermique, on le soumet au conditionnement magnétique et, après un temps bien défini, on mesure l'inductance.

*Note.* — Puisque la désaccommodation varie avec la température, la méthode C peut donner des résultats différant considérablement de ceux des méthodes A ou B, mais puisque cette méthode est plus rapide, on peut l'utiliser pourvu que les résultats aient une corrélation suffisante avec ceux des méthodes A ou B.

The disaccommodation factor  $D_F$  may be calculated from:

$$D_F = \frac{\mu_0 N^2 (L_1 - L_2)}{C_1 L_1^2 \log_{10} \left( \frac{t_2}{t_1} \right)}$$

where:

$L_1$  = self-inductance measured at  $t_1$  min after magnetic conditioning

$L_2$  = self-inductance measured at  $t_2$  min after magnetic conditioning

*Note.* — The disaccommodation has been found to be approximately proportional to the logarithm of time, and for this reason the disaccommodation factor is normally used to express the variability with time. Within the limits of the approximation, the disaccommodation of a core with air-gap can be derived from the disaccommodation factor of the material:

$$D = \mu_e D_F \log_{10} \left( \frac{t_2}{t_1} \right)$$

Due to limitations of the manufacturing process, the properties of cores with different geometries made of the same material may differ.

## 9. Variation of permeability with temperature

### 9.1 Object

To evaluate the change of the permeability of a core with temperature.

*Notes 1.* — Both components of the complex permeability will show temperature variability but in this standard only the real component is considered.

2. — When permeability and temperature of a core are simultaneously recorded, a large band of measuring points is obtained. The variation of permeability with temperature may be characterized with absolute accuracy in a single figure only for an infinitely small temperature range.

The concept of a temperature coefficient or a temperature factor applying over a finite temperature range is still desirable. A practical value permitting calculations to be made, with adequate accuracy, can be obtained by a proper choice of the measuring conditions and temperature limits under which the temperature coefficient or factor applies.

### 9.2 Principle of the method

The required accuracy of the method has a bearing on its simplicity and duration and for this reason three different measurement principles are distinguished.

*Method A:* The assembled core with measuring coil is taken through a temperature cycle at a very low rate of variation of the temperature. After one or more stabilizing cycles, both the temperature and the inductance are continuously recorded.

*Method B:* The assembled core with measuring coil is taken through a temperature cycle at a moderate rate of variation of the temperature. After one or more stabilizing cycles, the cycle is interrupted at certain temperatures. During each interruption, the temperature is kept constant for a sufficient time to allow the core to attain temperature equilibrium before the measurement is made.

*Method C:* The assembled core with measuring coil is taken through a temperature cycle at a moderate rate of variation of the temperature. After one or more stabilizing cycles, the cycle is interrupted at certain temperatures. During each interruption, the temperature is kept constant. After the core has reached thermal equilibrium, it is magnetically conditioned and the measurement is made after a clearly defined time.

*Note.* — Since the disaccommodation varies with temperature, method C may give results which differ appreciably from those obtained with Method A or B, but, since it is more rapid, it is useful, provided the results reliably correlate with those of Method A or B.

### 9.3 Echantillons

Pour les mesures on doit utiliser des noyaux pris dans la production normale.

Dans le cas où un circuit est composé de plus d'une pièce, par exemple un circuit en pot, et que la variation de température doit être mesurée suivant la méthode C, avec une bobine normale, il est préférable que le seul entrefer soit l'entrefer résiduel des surfaces de contact.

*Note.* — Dans quelques cas, comme celui des circuits en pot avec trou central, les parties du circuit peuvent être bobinées comme un tore. On peut mesurer la variation de la température de cette manière après avoir vérifié que les résultats sont raisonnablement similaires ou s'accordent avec les résultats obtenus avec une bobine normale. Cette méthode doit être utilisée avec une grande prudence. Dans le cas où un circuit en pot encoché est bobiné toroïdalement, les parois cylindriques extérieures apportent une contribution négligeable aux lignes magnétiques.

### 9.4 Dispositif de variation de température

#### 1) Méthode A

On doit utiliser une étuve à programme de température contrôlé dans laquelle la variation de température avec le temps est pratiquement linéaire et peut être maintenue à une valeur de  $0,2^\circ\text{C}/\text{min}$ .

#### 2) Méthodes B et C

L'étuve utilisée pour cet essai doit être capable de maintenir la température spécifiée avec une tolérance de  $\pm 1^\circ\text{C}$  dans toute région où on peut placer des composants. La température doit être maintenue constante dans le temps à  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ .

La régulation de température dans l'étuve doit être telle que les noyaux ne soient soumis à aucune oscillation et à aucun dépassement à l'extérieur de cette limite de  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ .

#### 3) Thermomètres

Le dispositif de mesure de la température (ou capteur) devra avoir une sensibilité et une précision telles qu'il sera possible de:

- vérifier que la température est constante à  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ ;
- mesurer, à  $\pm 1\%$  ou  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ , la valeur la plus grande étant applicable, la différence de température totale dans laquelle la variation en fonction de la température doit être mesurée.

### 9.5 Dispositif de chronométrage (méthode C seulement)

L'imprécision de chaque mesure de temps ne doit pas dépasser 1%. Dans le cas où le dispositif de chronométrage est démarré par le dispositif du conditionnement magnétique, ce chiffre doit inclure l'imprécision de la technique de démarrage et du dispositif de chronométrage.

*Note.* — En principe, le temps de référence est le moment où l'intensité du champ commence à décroître à partir de la valeur de saturation. Pour des systèmes de conditionnement automatique, comme la méthode de décharge du condensateur et la méthode de l'amplificateur de puissance, le procédé complet de conditionnement magnétique est si court qu'il ne dépasse pas la tolérance du temps de la mesure.

### 9.6 Processus de mesure

#### 1) Le circuit est assemblé avec une bobine de mesure conformément au paragraphe 4.3.

La tolérance de  $\pm 1\%$  pour la force de serrage comprend toute variation de force produite par la variation de température.

#### 2) Le circuit doit être soumis à un nombre de cycles de stabilisation et à un cycle de mesure. Normalement deux cycles de stabilisation sont suffisants. Ils sont identiques aux cycles de mesure décrits plus loin par rapport aux températures extrêmes et à la vitesse de variation de température, mais les périodes à température constante spécifiques aux cycles de mesure peuvent être supprimées.

### 9.3 Specimens

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

When the complete core consists of more than one part, e.g. a pot core, and the temperature variation is to be measured according to Method C with a normal winding, it is preferable that the only air-gap in the flux path shall be the residual air-gap due to the contact surfaces.

*Note.* – In some cases, such as pot cores with centre hole, the core parts can be wound as a toroid. The temperature variation may be measured in that way after it has been established that the results are reasonably equal to or correlate with the results obtained with a normal winding. This method should be used with extreme caution. When a slotted pot core is toroidally wound, the outside walls make negligible contribution to the flux path.

### 9.4 Temperature cycling device

#### 1) Method A

A temperature controlled chamber shall be used in which the temperature change with time is practically linear and can be kept at  $0.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ .

#### 2) Methods B and C

The chamber used for this test shall be capable of maintaining, in any region where the components are placed, the specified temperature within an overall tolerance of  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . The temperature shall be kept constant with time within  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ .

The temperature in the chamber shall be so controlled that the cores are not subjected to any temperature ripple and overshoot exceeding this limit of  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ .

#### 3) Thermometers

The temperature measuring (or sensing) device shall have such sensitivity and accuracy that it is possible:

- to check that temperature is constant within  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ;
- to measure within  $\pm 1\%$ , or  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ , whichever is the greater, the total temperature difference over which the temperature dependence is to be measured.

### 9.5 Timing device (Method C only)

The inaccuracy of any time measurement shall not exceed 1%. In the case where the timing device is started by the magnetic conditioning device, this figure shall include the inaccuracy of both the starting technique and the timing device.

*Note.* – In principle, the reference time shall be the moment when the field strength starts to decrease from the saturation value. For automatic conditioning systems, such as the capacitor discharge and power amplifier method, the whole magnetic conditioning process is so short as to fall within the tolerance of the time of the measurement.

### 9.6 Measuring procedure

#### 1) The core is assembled with a measuring coil in accordance with Sub-clause 4.3.

The tolerance of  $\pm 1\%$  on the clamping force includes any force variation due to temperature change.

#### 2) The core shall be subjected to a number of stabilizing cycles and one measuring cycle. Usually two stabilizing cycles are sufficient. They are identical to the measuring cycles described below as to temperature range and specified rate of temperature change, but the periods at constant temperature specific to the measuring cycles can be left out.

**Méthode A:** Le circuit assemblé est placé dans l'étuve. Après le nombre spécifié de cycles de stabilisation, le circuit est porté à la température spécifiée, puis à la température inférieure spécifiée et finalement ramené à la température à laquelle on a commencé le cycle. La vitesse de la variation de température doit être d'environ 0,2°C/min et doit être constante pendant toute la durée du cycle. La température et l'inductance doivent être enregistrées simultanément pendant le cycle de mesure à des intervalles ne dépassant pas 1 min. Le temps de commencement de la mesure doit aussi être noté.

**Méthode B:** Le circuit assemblé est placé dans l'étuve. Après le nombre spécifié de cycles de stabilisation, le circuit est maintenu à la température spécifiée pour la mesure initiale pendant 30 min au moins après que le circuit a atteint l'équilibre thermique, et ensuite le circuit est mesuré (valeur de référence). La température est amenée à une vitesse maximale de 1°C/min à la température inférieure spécifiée et maintenue à cette valeur comme spécifié ci-dessus, puis le circuit est mesuré. La température est alors augmentée à une vitesse maximale de 1°C/min jusqu'à la prochaine température de mesure spécifiée, maintenue à cette valeur comme spécifié ci-dessus, puis le circuit est mesuré.

Ce processus est continué jusqu'à la température de mesure spécifiée la plus haute, puis la température est abaissée à une vitesse maximale de 1°C/min jusqu'à la température de la mesure initiale où la mesure finale est effectuée après une période de température constante comme spécifié ci-dessus.

**Méthode C:** Le circuit assemblé est placé dans l'étuve et porté à la température de mesure inférieure spécifiée à une vitesse suffisamment basse pour ne pas créer un gradient de température excessif dans le matériau (normalement 1°C/min sera une valeur convenable). La température est maintenue constante pendant un temps suffisant pour permettre au circuit assemblé d'atteindre l'équilibre thermique avec l'atmosphère de l'étuve. Le circuit est alors soumis à un conditionnement magnétique selon le paragraphe 6.3, point 1) avec un courant alternatif décroissant et l'inductance de la bobine est mesurée 10 min après le conditionnement. La température est alors augmentée jusqu'à la prochaine température de mesure spécifiée à la vitesse spécifiée ci-dessus. Le maintien de la température, le conditionnement magnétique et la mesure de l'inductance sont répétés à cette température. On continue ce processus jusqu'à la plus haute température de mesure spécifiée.

*Note.* – Voir la note du paragraphe 9.2, méthode C.

- 3) Les lectures de l'inductance sont faites conformément au paragraphe 7.4. Le processus de mesure et les conditions d'ambiance, à l'exception de la température, doivent être identiques pour toutes les mesures d'un cycle.

### 9.7 Calcul

Le coefficient de température  $\alpha_\mu$  pour chaque valeur mesurée se calcule à partir du quotient de la différence entre la valeur mesurée et la valeur de référence par le produit de la valeur de référence et de la différence des températures correspondante. Dans le cas d'une mesure de l'inductance, le coefficient est calculé à partir de:

$$\alpha_\mu = \frac{L_\theta - L_{\text{ref}}}{L_{\text{ref}} (\theta - \theta_{\text{ref}})}$$

où:

$L_{\text{ref}}$  = inductance de la bobine de mesure à la température de référence  $\theta_{\text{ref}}$  (de préférence 25°C)

$L_\theta$  = inductance de la bobine de mesure à la température  $\theta$

*Method A:* The assembled core is placed in the chamber and after the specified number of stabilizing cycles, it is brought to the highest measuring temperature specified, then to the lowest measuring temperature specified and finally back to the temperature at which the cycle was started. The rate of temperature change shall be approximately 0.2°C/min, and constant throughout the cycle. Temperature and inductance shall be recorded simultaneously during the measuring cycle at time intervals not exceeding 1 min. The time of starting the measurement shall also be recorded.

*Method B:* The assembled core is placed in the chamber and after the specified number of stabilizing cycles, it is kept at the temperature specified for the initial measurement for 30 min at least after temperature equilibrium has been attained, after which a measurement is made (reference value). The temperature is varied at a maximum rate of 1°C/min to the lowest specified measuring temperature and kept constant as specified above, after which a measurement is made. The temperature is then raised at a maximum rate of 1°C/min to the next higher specified measuring temperature and kept constant as specified, after which another measurement is made.

This procedure is continued up to the highest specified measuring temperature, after which the temperature is lowered at a maximum rate of 1°C/min to the temperature for initial measurement, where the final measurement is made after a period of constant temperature as specified above.

*Method C:* The assembled core is placed in the chamber and brought to the lowest of the specified measuring temperatures at a rate sufficiently low as not to create an excessive temperature gradient in the material (normally, 1°C/min will be a suitable value). The temperature is maintained for a sufficient time to allow the core assembly to reach thermal equilibrium with the atmosphere in the chamber. The core is then magnetically conditioned according to Sub-clause 6.3, Item 1) with a decreasing alternating current through the measuring coil, and the inductance of the measuring coil is measured 10 min after conditioning. The temperature is then raised to the next higher specified measuring temperature at the rate specified above. The maintaining of temperature, magnetic conditioning and inductance measurement are repeated at that temperature. This procedure is continued until the highest measuring temperature specified.

*Note.* – See note to Sub-clause 9.2, Method C.

- 3) The inductance readings are taken in accordance with Sub-clause 7.4. The measuring procedure and environmental conditions shall be identical throughout the measurement of one cycle, except for the temperature.

## 9.7 Calculation

The temperature coefficient  $\alpha_\mu$  for each measurement is calculated from the difference between the measured value and the reference value divided by the reference value and the corresponding temperature difference. In the case of inductance measurements it is calculated from:

$$\alpha_\mu = \frac{L_\theta - L_{\text{ref}}}{L_{\text{ref}} (\theta - \theta_{\text{ref}})}$$

where:

$L_{\text{ref}}$  = self-inductance of measuring coil at reference temperature  $\theta_{\text{ref}}$  (preferably 25°C)  
 $L_\theta$  = self-inductance of measuring coil at temperature  $\theta$

Pour la méthode A, les valeurs sont lues sur la courbe enregistrée.

*Notes 1.* – Le coefficient de température est utilisé généralement pour calculer les limites de la variation de la perméabilité d'un circuit dans une gamme de températures donnée. On ne peut l'utiliser pour décrire le comportement dans cette gamme de températures que lorsqu'on tient compte des limites de linéarité de la caractéristique de la perméabilité du circuit en fonction de la température.

Il faut remarquer que, à cause de la non-linéarité de cette caractéristique, le coefficient de température peut être différent pour différentes gammes de températures. De plus, la déviation de la ligne droite n'est pas toujours réduite quand on choisit une gamme de températures plus petite.

Quelques méthodes pour exprimer le coefficient de température et la non-linéarité associée sont données dans l'annexe F.

2. – Pour une série de circuits à entrefers différents, coupant les lignes de flux (par exemple circuits en pot), le coefficient de température magnétique,  $\alpha_\mu$ , peut être calculé à partir du facteur de température  $\alpha_F$  du circuit dans lequel le seul entrefer est l'entrefer résiduel des surfaces de contact:

$$\alpha_\mu = \frac{\alpha_F \mu_e}{1 - \alpha_F \mu_e (\theta - \theta_{ref})} \approx \alpha_F \mu_e$$

où:

$\mu_e$  = perméabilité effective à la température de référence  $\theta_{ref}$  du circuit à entrefer

$\alpha_F$  = facteur de température du circuit sans entrefer dans la gamme de températures de  $\theta_{ref}$  à  $\theta$ , calculé à partir des mesures effectuées sur le circuit d'après:

$$\alpha_F = \frac{\mu_0 N^2}{C_1} \frac{L_\theta - L_{ref}}{L_\theta L_{ref} (\theta - \theta_{ref})}$$

La formule approximative n'est correcte que lorsque la variation totale de la perméabilité du circuit avec entrefer dans la gamme de températures est suffisamment petite. On peut l'écrire aussi:

$$\alpha_\mu = \frac{C_1}{\mu_0} \alpha_F A_L$$

où:

$A_L$  = inductance spécifique du circuit à entrefer

3. – Le coefficient de température d'une bobine d'inductance peut être totalement différent de celui du circuit puisque d'autres influences sont introduites sur la variabilité, par exemple: par le serrage, par le bobinage.

## 10. Gamme de réglage de l'inductance

### 10.1 Objet

Fournir une méthode pour la mesure de la gamme de réglage de l'inductance des noyaux magnétiques avec dispositif de réglage séparé.

### 10.2 Terminologie

Les définitions suivantes sont applicables pour cette méthode:

- 1) *Dispositif de réglage*: Dispositif permettant le réglage de l'inductance d'une bobine d'inductance ou d'un transformateur accordé par changement de la réluctance du noyau après l'assemblage.
- 2) *Partie fixe (du dispositif de réglage)*: La partie d'un dispositif de réglage attachée mécaniquement au noyau par des moyens tels que, par exemple, le collage.
- 3) *Bâtonnet (de réglage)*: La partie d'un dispositif de réglage qui peut prendre des positions différentes par rapport à l'entrefer du noyau.
- 4) *Gamme de réglage*: La différence d'inductance d'une bobine d'inductance avec le bâtonnet de réglage placé dans les positions maximale et minimale respectivement, exprimée comme un pourcentage de l'inductance de cette bobine sans bâtonnet de réglage.

For Method A, the values are read from the recorded curve.

*Notes 1.* – The temperature coefficient is commonly used to calculate the limits of change of permeability of a core within a given temperature range. It can only be used to describe the behaviour within the temperature range, when the limits of linearity of the permeability versus temperature characteristic of the core are taken into account.

It should be noted that, because of the non-linearity of this characteristic, the temperature coefficient may be different for different temperature ranges. Further, the deviation from the straight line is not always reduced when a smaller temperature range is chosen.

Some methods of expressing temperature coefficient and non-linearity dependence are given in Appendix F.

2. – For series of cores with different air-gaps cut into the flux path (such as pot cores), the temperature coefficient  $\alpha_\mu$  may be calculated from the temperature factor  $\alpha_F$  of the core in which the only air-gaps in the flux path are the residual air-gaps due to the contact surfaces. The required relation is:

$$\alpha_\mu = \frac{\alpha_F \mu_e}{1 - \alpha_F \mu_e (\theta - \theta_{ref})} \approx \alpha_F \mu_e$$

where:

$\mu_e$  = effective permeability of the core with air-gap at reference temperature  $\theta_{ref}$   
 $\alpha_F$  = temperature factor of the core without air-gap, over the range  $\theta_{ref}$  to  $\theta$ , calculated from measurements on that core according to:

$$\alpha_F = \frac{\mu_0 N^2}{C_1} \frac{L_\theta - L_{ref}}{L_\theta L_{ref} (\theta - \theta_{ref})}$$

The approximate formula holds true when the total variation of permeability of the core with air-gap over the temperature range is sufficiently small. It can also be written

$$\alpha_\mu = \frac{C_1}{\mu_0} \alpha_F A_L$$

where:

$A_L$  = inductance factor of the core with air-gap

3. – The temperature coefficient of an inductor may be totally different from that of the core, since various influences on the variability are introduced, e.g. by the clamping, by the copper winding.

## 10. Range of inductance adjustment

### 10.1 Object

To provide a method for the measurement of the range of adjustment of the inductance of magnetic cores having a separate adjusting device.

### 10.2 Terminology

For the purpose of this method, the following definitions apply:

- 1) *Adjusting device*: A device providing adjustment of the inductance of an inductor or tuned transformer, after its complete assembly, by changing the reluctance of the core.
- 2) *Fixed part (of an adjusting device)*: The part of an adjusting device which is mechanically attached to the core by such means as cement.
- 3) *Adjuster*: The part of an adjusting device which may assume different positions relative to the air-gap of the core.
- 4) *Adjustment range*: The difference in inductance of an inductor when the adjuster is placed in the maximum and minimum position respectively, expressed as a percentage of the inductance of that inductor without adjuster.

- 5) *Limite supérieure [inférieure] de la gamme de réglage*: La différence d'inductance d'une bobine d'inductance avec le bâtonnet de réglage placé dans la position maximale [minimale] et avec le bâtonnet enlevé, exprimée comme un pourcentage de cette dernière inductance:

$$a = \frac{L_{\min} - L_0}{L_0} \cdot 100\% \quad b = \frac{L_{\max} - L_0}{L_0} \cdot 100\%$$

où:

$a$  = limite inférieure avec inductance  $L_{\min}$   
 $b$  = limite supérieure avec inductance  $L_{\max}$   
 $L_0$  = inductance sans bâtonnet de réglage

- 6) *Position maximale [minimale] du bâtonnet de réglage*: Position définie par des exigences mécaniques ou d'autres conditions et qui correspond à la limite supérieure [inférieure] de la gamme de réglage.
- 7) *Réglage du type à vis*: Réglage dans lequel le bâtonnet de réglage se visse dans, ou sur la partie fixe (vis ou écrou).

### 10.3 Principe de la mesure

L'inductance du noyau sans bâtonnet de réglage est mesurée. Le bâtonnet est alors placé en position minimale et à partir de ce point, l'inductance est mesurée par petites variations, jusqu'à ce que la position maximale soit atteinte. La différence relative d'inductance est portée en fonction du déplacement du bâtonnet.

### 10.4 Echantillons

Pour la mesure, on doit utiliser des dispositifs de réglage pris dans la production normale, en combinaison avec des noyaux appropriés.

### 10.5 Procédé de mesure

- 1) Lorsque la partie fixe n'a pas été fixée dans une partie du noyau par le fabricant, cela doit être fait suivant les instructions du fabricant.
- 2) Le noyau est assemblé avec la bobine de mesure conformément au paragraphe 4.3.
- 3) Le bâtonnet de réglage doit être introduit dans le noyau et doit subir deux «allers et retours» dans la gamme de réglage complète. Le bâtonnet est alors enlevé du noyau.

*Note.* — Un trop grand nombre d'«aller et retour» du bâtonnet peut détériorer la stabilité et devra donc être évité.

- 4) L'inductance est mesurée conformément au paragraphe 7.4.
- 5) Le bâtonnet est introduit dans le noyau et placé dans la position minimale. L'inductance est mesurée conformément au paragraphe 7.4.
- 6) Le bâtonnet est alors successivement déplacé d'une petite distance et chaque fois l'inductance est mesurée jusqu'à ce que la position maximale soit atteinte. Les déplacements doivent être suffisamment petits afin de détecter les irrégularités dans la caractéristique de réglage (voir paragraphe 10.6); par exemple pour un réglage du type à vis, un quart de tour.

### 10.6 Calcul

La variation d'inductance relative à l'inductance mesurée sans bâtonnet de réglage doit être portée en fonction de la position mécanique (déplacement) du bâtonnet. Pour les réglages du type à vis ce déplacement doit être exprimé en nombre de tours et pour les types à pousser, il doit être exprimé en millimètres.

- 5) *Upper [lower] limit of the adjustment range*: The difference in inductance of an inductor when the adjuster is placed in the maximum [minimum] position and when the adjuster is removed, expressed as a percentage of that latter inductance:

$$a = \frac{L_{\min} - L_0}{L_0} \cdot 100\% \quad b = \frac{L_{\max} - L_0}{L_0} \cdot 100\%$$

where:

$a$  = lower limit with inductance  $L_{\min}$   
 $b$  = upper limit with inductance  $L_{\max}$   
 $L_0$  = inductance when adjuster is removed

- 6) *Maximum [minimum] position of the adjuster*: Position defined by mechanical requirements or other conditions and which corresponds to the upper [lower] limit of the adjustment range.
- 7) *Screw type adjusting device*: Adjusting device in which the adjuster screws into or onto the fixed part (stud or nut).

### 10.3 Principle of the measurement

The inductance of the core without adjuster is measured. The adjuster is then placed in the minimum position and the inductance measured at small steps of the adjuster until the maximum position has been reached. The relative change of inductance is plotted against the adjuster displacement.

### 10.4 Specimens

Adjusting devices taken from normal production shall be used for the measurement in combination with appropriate cores.

### 10.5 Measuring procedure

- 1) If the fixed part has not been attached to one of the core parts by the manufacturer, this shall be done according to the manufacturer's instructions.
- 2) The core is assembled with the measuring coil in accordance with Sub-clause 4.3.
- 3) The adjuster shall be introduced into the core and moved twice through the complete adjustment range and back. The adjuster is then removed from the core.

*Note.* - Too many movements through the adjustment range may result in deterioration of the stability and should therefore be avoided.

- 4) The inductance is measured in accordance with Sub-clause 7.4.
- 5) The adjuster is introduced into the core and placed in the minimum position. The inductance is measured in accordance with Sub-clause 7.4.
- 6) The adjuster is then successively displaced over a small distance and each time the inductance is measured till the maximum position is reached. The steps shall be small enough to detect irregularities in the adjustment characteristic (see Sub-clause 10.6); for example, for screw type adjusters,  $\frac{1}{4}$  turn.

### 10.6 Calculation

The inductance change relative to the inductance measured with the adjuster removed shall be plotted against the mechanical position (displacement) of the adjuster. For screw type adjusters, the displacement shall be given in number of turns and for push types it shall be given in millimetres.

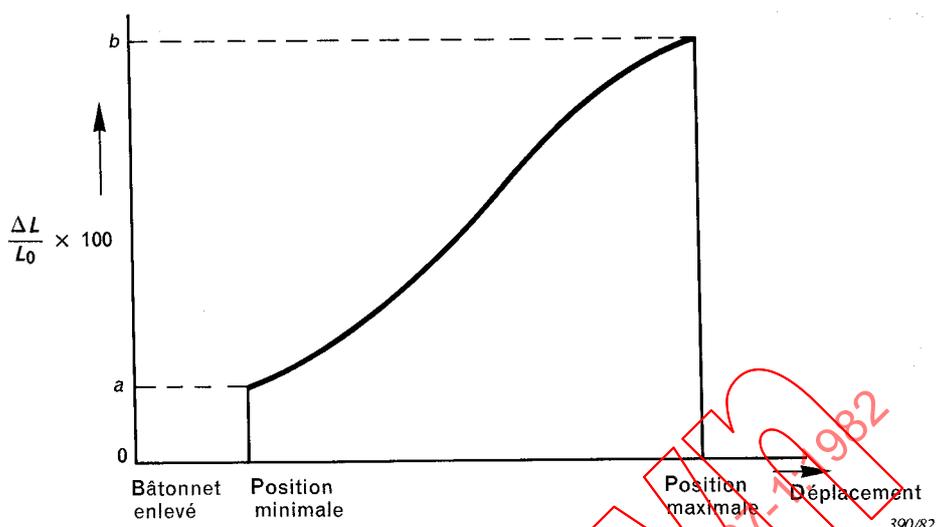


FIGURE 1

Les pentes maximale et minimale de la courbe doivent être notées comme requis.

## 11. Pertes

### 11.1 Pertes à faible induction

#### 11.1.1 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.

#### 11.1.2 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 11.1.4).

#### 11.1.3 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

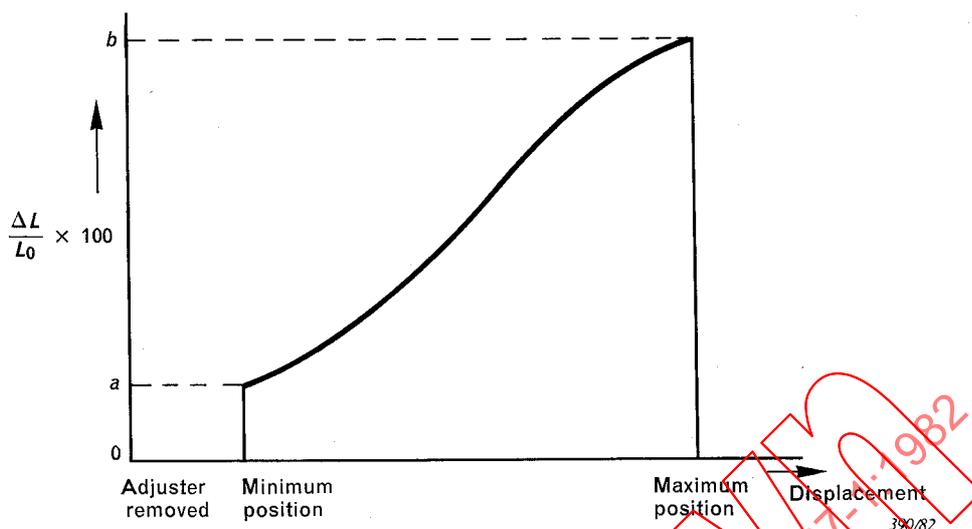


FIGURE 1

The maximum and minimum slopes of the curve shall be noted as required.

## 11. Losses

### 11.1 Losses at low flux density

#### 11.1.1 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.

#### 11.1.2 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 11.1.4).

#### 11.1.3 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 measur-

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, point 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 multibrin quand on bobine un tore. Pour des mesures à haute fréquence, cependant, le fil multibrin peut être nécessaire.

- c) Dans tous 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).

#### 11.1.4 *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:

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 11.1.3 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  $\mu_e$

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

#### 11.1.5 *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 spéci-

ing 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).

#### 11.1.4 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:

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 11.1.3 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  $\mu_e$

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

#### 11.1.5 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

fié), qui doivent être choisies de telle façon que l'induction effective de crête dans le noyau ne dépasse par 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  
 $\Delta R_s$  = 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

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

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

où:

$\eta_B$  = constante hystérétique du matériau  
 $\Delta G_p$  = 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  $\eta_B$  est une constante du matériau indépendante de  $\mu_e$  et de  $\hat{B}$ , il s'ensuit que  $\operatorname{tg} \delta_h$  pour un noyau de  $\mu_e$  donné est proportionnelle à  $\hat{B}$  puisque  $\operatorname{tg} \delta_h = \eta_B \cdot \mu_e \cdot \hat{B}$ .

#### 11.1.6 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).

### 11.2 Pertes à haute induction (pertes totales)

#### 11.2.1 Objet

Fournir des méthodes de mesure des pertes totales à induction élevée de noyaux magnétiques excités avec une onde périodique.

#### 11.2.2 Principes de mesurage

En fonction de l'application, on peut utiliser une ou plusieurs des trois méthodes suivantes:

- 1) *Méthode du voltmètre multiplicateur*

Cette méthode est généralement applicable si le facteur de crête est à l'intérieur des limites imposées par l'instrument.

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  
 $\Delta R_s$  = 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) For materials and for cores which may have different air-gaps, parallel measurement:

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

where:

$\eta_B$  = hysteresis material constant  
 $\Delta G_p$  = 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  $\eta_B$  as a material constant is independent of  $\mu_e$  and  $\hat{B}$ , then it follows that  $\tan \delta_h$  for a core with given  $\mu_e$  is proportional to  $\hat{B}$  since  $\tan \delta_h = \eta_B \cdot \mu_e \cdot \hat{B}$ .

### 11.1.6 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).

## 11.2 Losses at high flux density (total core loss)

### 11.2.1 Object

To provide measuring methods for total core loss of magnetic cores energized at high flux density with a periodic waveform.

### 11.2.2 Principles of measurement

One or more of the following three methods is suitable, according to the application:

#### 1) Multiplying voltmeter method

This method is generally applicable provided the peak factor is within the limitations imposed by the instrument.

La tension aux bornes de la résistance non inductive en série avec la bobine de mesure du noyau et la tension aux bornes de la bobine sont appliquées respectivement aux deux voies du voltmètre multiplicateur. Cet instrument donne une moyenne des produits des valeurs instantanées des deux tensions et celle-ci est proportionnelle à la perte totale dans le noyau.

### 2) *Méthode du pont*

Cette méthode est limitée aux courants et tensions sinusoïdaux.

La résistance parallèle équivalente de la bobine de mesure du noyau est déterminée à l'aide d'un circuit en pont supportant la puissance exigée pour produire l'induction spécifiée dans le noyau.

### 3) *Méthode de l'oscilloscope*

Cette méthode peut être utilisée pour des tensions et des courants alternatifs ou pulsés et pour des facteurs de crête élevés comme cela se produit pour des impulsions ayant un faible rapport de la durée d'impulsion au temps de répétition de l'impulsion. Cette méthode est plus appropriée pour les fortes puissances et les tensions élevées.

La tension aux bornes de la résistance non inductive en série avec la bobine de mesure du noyau et la tension aux bornes de cette bobine intégrée en fonction du temps alimentent respectivement les plaques de déviation horizontales et verticales de l'oscilloscope. La surface de la boucle enregistrée est déterminée et permet une mesure des pertes totales du noyau.

## 11.2.3 *Echantillons*

Des noyaux prélevés dans la production normale et formant des circuits magnétiques complets doivent être utilisés pour la mesure.

## 11.2.4 *Bobine de mesure*

- 1) Il convient de spécifier le nombre de spires en relation avec les conditions de mesure, l'équipement utilisé et la précision à obtenir. La résistance et la capacité répartie de la bobine de mesure seront aussi faibles qu'il est nécessaire pour que l'erreur soit négligeable.

Le conducteur sera composé de brins isolés si cela est nécessaire pour les mesures aux fréquences élevées. Dans le cas d'un bobinage toroïdal, les spires doivent être également réparties le long de la circonférence.

- 2) Dans le cas des méthodes du voltmètre multiplicateur et de l'oscilloscope, si l'emploi d'une bobine de mesure à un seul enroulement est incompatible avec la précision à obtenir, on utilisera une bobine à deux enroulements séparés pour le courant et la tension.

La bobine de tension aura une résistance beaucoup plus petite que l'impédance de l'instrument et sera bobinée aussi près que possible du noyau. La capacité répartie sera aussi faible que possible pour que l'erreur soit négligeable. La bobine de courant doit recouvrir complètement la bobine de tension.

*Note.* – Lorsqu'on fait le bobinage sur un noyau qui possède des arêtes vives, on prendra soin de s'assurer que l'isolant du fil n'est pas endommagé et, dans le cas de fils divisés, que des brins ne sont pas cassés.

## 11.2.5 *Équipement de mesure*

N'importe quel équipement de mesure approprié peut être utilisé. Des exemples de circuits appropriés sont donnés à l'annexe J. Les exigences suivantes doivent être satisfaites:

- 1) Le générateur utilisé doit pouvoir délivrer la tension et le courant spécifiés avec la forme d'onde correcte dans les tolérances spécifiées quand la bobine de mesure avec son noyau est branchée dans

The voltage across a non-reactive resistor in series with a measuring coil on the core and the voltage across that coil are connected to the two channels respectively of a multiplying voltmeter. This instrument gives an average of the products of the instantaneous values of the two voltages and this is proportional to the total loss in the core.

2) *Bridge method*

This method is restricted to sinusoidal voltage or current.

The equivalent parallel resistance of a measuring coil on the core is determined by a bridge circuit suitable for handling the power required to generate the specified flux density in the core.

3) *Oscilloscope method*

This method can be used for either alternating or pulsating voltages and currents and for high peak factors as may occur for pulses having a small ratio of pulse duration to pulse repetition time. It is more appropriate for high powers and high voltages.

The voltage across a non-reactive resistor in series with a measuring coil on the core, and the voltage across that coil integrated over the time are fed to the horizontal and vertical deflection plates respectively of an oscilloscope. The surface area of the displayed loop is determined and this is a measure of the total loss in the core.

### 11.2.3 *Specimens*

Cores taken from normal production and forming complete magnetic circuits shall be used for the measurement.

### 11.2.4 *Measuring coil*

- 1) The number of turns should be specified in relation to the measuring conditions, the equipment used and the accuracy to be obtained. The resistance and self-capacitance of the measuring coil should be as low as is needed to make the error negligible.

The conductor should consist of insulated strands if this is necessary for measurements at high frequencies. In the case of a toroidal winding, the turns shall be evenly distributed around the circumference.

- 2) In the case of the multiplying voltmeter method and of the oscilloscope method, if the use of a single winding measuring coil would be incompatible with the accuracy to be obtained, a double wound coil, with separate current and voltage windings, should be used.

The voltage winding should have a resistance very much smaller than the impedance of the instrument and should be wound as close to the core as possible. The self-capacitance should be as low as is necessary to make the error negligible. The current winding shall completely cover the voltage winding.

*Note.* – When winding a coil on to a sharp-edged core, care should be taken to ensure that the wire insulation is not ruptured and, in the case of stranded wire, strands are not broken.

### 11.2.5 *Measuring equipment*

Any suitable measuring equipment may be used. Examples of appropriate circuits are given in Appendix J. The following requirements shall be met:

- 1) The generator used shall be able to supply the specified voltage or current having the correct waveform within the specified tolerances when the measuring coil on the core is connected in the

le circuit. Lorsqu'on spécifie une onde sinusoïdale, la teneur totale en harmoniques doit être inférieure à 1%. Lorsqu'on spécifie des impulsions carrées, les exigences particulières de l'article 16 doivent être satisfaites.

- 2) Toutes les connexions entre les éléments du circuit doivent être aussi courtes que possibles. Les connexions des deux voies du voltmètre multiplicateur avec le circuit doivent être de longueur égale et de même type. Les câbles de connexion à l'oscilloscope doivent être du type à faible capacité (par exemple câbles isolés à l'air).
- 3) La résistance en série avec la bobine de mesure doit avoir une tolérance de  $\pm 0,5\%$ . Avec des courants non sinusoïdaux, cette résistance doit être non réactive, dans la mesure où le déphasage entre le courant la traversant et la tension à ses bornes ne dépasse pas 0,002 rad dans la gamme de fréquences définie au point 4. Avec des courants sinusoïdaux, cette résistance doit être soit non réactive, comme spécifié ci-dessus, soit, dans le cas d'une composante réactive, être compensée à la fréquence de mesure par un condensateur variable. Celui-ci peut en même temps être utilisé pour compenser une éventuelle dérive de phase entre les voies du voltmètre multiplicateur.

*Notes 1.* – Des instructions pour réaliser une résistance non inductive sont données à l'article J4 de l'annexe J.

2. – La compensation d'une résistance réactive n'est généralement applicable que pour une seule fréquence.

- 4) La gamme de fréquences des voltmètres et de l'oscilloscope doit comprendre tous les harmoniques des tensions appliquées ayant des amplitudes de 1% (ou plus) des tensions fondamentales. La gamme de fréquences doit être spécifiée dans la spécification particulière.

L'erreur de phase entre les voies du voltmètre multiplicateur ne doit pas dépasser 0,003 rad dans toute la gamme de fréquences exigée. L'impédance d'entrée des deux voies doit être assez élevée pour que l'effet qui en résulte sur le circuit soit négligeable.

- 5) Le voltmètre à lecture moyenne et le voltmètre à lecture efficace doivent être de la classe 1 ou mieux, conformément à la Publication 51 de la CEI: Recommandations pour les appareils de mesure électriques indicateurs à action directe et leurs accessoires.

L'imprécision inhérente à chaque voie du voltmètre multiplicateur ne doit pas dépasser 1% de sa pleine échelle de lecture; cela est, par exemple, applicable lorsque le voltmètre multiplicateur est utilisé à la place d'un voltmètre séparé pour déterminer la tension moyenne aux bornes de la bobine de mesure.

Lorsqu'il est utilisé dans le mode multiplicateur, le voltmètre doit être capable d'indiquer, avec une constante d'appareil connue, l'intégrale dans le temps du produit des valeurs instantanées des deux tensions mesurées sur chaque voie, avec une imprécision ne dépassant pas 2% de la pleine échelle de lecture.

*Notes 1.* – La limite sur le facteur de crête pour le voltmètre multiplicateur devra être respectée.

2. – Si le facteur de qualité  $Q$  du noyau assemblé est supérieur à 10, l'erreur sur le produit moyen indiqué est augmentée.

- 6) Des facilités d'étalonnage convenables doivent être prévues dans la méthode de l'oscilloscope pour obtenir une précision pour les tensions enregistrées meilleure que 3% de la déviation totale. On doit s'assurer que l'imprécision sur la mesure de la surface ne dépasse pas 5%.
- 7) Une température ambiante contrôlée doit être assurée, de manière à maintenir la température du noyau à la valeur spécifiée pendant la mesure.

#### 11.2.6 Procédé de mesure

- 1) Le noyau à mesurer est assemblé avec la bobine de mesure suivant le paragraphe 5.2.

circuit. When sinusoidal waveform is specified, the total harmonic content shall be less than 1%. When square pulses are specified, the relevant requirements of Clause 16 shall be met.

- 2) All connections between the circuit components shall be as short as possible. The connections of the two channels of the multiplying voltmeter with the circuit shall be of equal length and of the same type. The connecting cables to the oscilloscope shall be of a low capacitance type (e.g. air insulated cables).
- 3) The resistor in series with the measuring coil shall have a resistance tolerance not exceeding  $\pm 0.5\%$ . With non-sinusoidal currents this resistor shall be non-reactive to the extent that the phase angle between the current flowing through it and the voltage across it shall not exceed 0.002 rad over the frequency range defined in Item 4. With sinusoidal currents this resistor shall either be non-reactive as specified above, or in the case of a reactive component shall be compensated at the measuring frequency by a variable capacitor. This capacitor may at the same time be used to compensate any phase shift between the channels of the multiplying voltmeter.

*Notes 1.* – Instructions for making a non-reactive resistor are given in Clause J4 of Appendix J.

2. – Compensation of a reactive resistor is generally valid only for a single frequency.

- 4) The frequency range of the voltmeters and the oscilloscope shall include all harmonics of the applied voltages having amplitudes of 1% or more of their fundamentals. The frequency range shall be specified in the relevant specification.

Any phase error between the channels of the multiplying voltmeter shall not exceed 0.003 rad over the full frequency range required. The input impedance of both channels shall be high enough to have a negligible effect on the circuit.

- 5) The average-reading voltmeter and the r.m.s.-reading voltmeter shall be Class 1 or better, in accordance with IEC Publication 51: Recommendations for Direct Acting Indicating Electrical Measuring Instruments and their Accessories.

The inaccuracy inherent in each channel of the multiplying voltmeter shall not exceed 1% of its full scale reading; this applies, for example, when the multiplying voltmeter is used instead of a separate voltmeter for determining the average voltage across the measuring coil.

When used in the product mode, the multiplying voltmeter shall be capable of indicating, with known meter constant, the time average of the product of the instantaneous values of the two voltages measured by each channel, with an inaccuracy not exceeding 2% of the full scale reading.

*Notes 1.* – The limit on the peak factor for the multiplying voltmeter should be observed.

2. – If the quality factor  $Q$  of the assembled coil is greater than 10, the error in the indicated average product is increased.

- 6) Calibration facilities shall be provided for the oscilloscope method to obtain an accuracy for the displayed voltages of better than 3% of full deflection. Measures should be taken to ensure that the inaccuracy of the area measurement does not exceed 5%.
- 7) A temperature-controlled environment shall be provided, capable of maintaining the core at the specified temperature during the measurement.

#### 11.2.6 Measuring procedure

- 1) The core to be measured is assembled with the measuring coil in accordance with Sub-clause 5.2.

- 2) Quand la température du noyau est spécifiée, le noyau doit être placé dans un environnement à température contrôlée, conformément au point 7 du paragraphe 11.2.5. La mesure doit être effectuée aussi rapidement que possible afin que l'échauffement propre de la bobine et du noyau soit négligeable.
- 3) La bobine assemblée est reliée au circuit et le générateur est réglé pour fournir l'onde de tension ou de courant spécifié à la fréquence spécifiée. La tension de la source est réglée de manière que la tension moyenne par demi-période, mesurée aux bornes de la bobine, soit conforme à la relation:

$$U_{av} = 2f \cdot N \cdot A \cdot \Delta B$$

où:

- $f$  = fréquence de mesure  
 $N$  = nombre de spires de la bobine de mesure ou de l'enroulement de tension de la bobine de mesure  
 $\Delta B$  = variation spécifiée d'induction au cours de la mesure. Pour une induction variant de façon symétrique avec une valeur de crête de  $\hat{B}$ ,  $\Delta B = 2\hat{B}$   
 $A$  = soit la surface effective du noyau  $A_e$ , soit la valeur nominale de la plus petite section  $A_{min}$ , selon ce qui est prescrit par la spécification

Toutes les dimensions utilisées pour calculer  $A_{min}$  sont les valeurs moyennes comprises entre les tolérances citées sur le plan de la pièce correspondant

Notes 1. – Lorsqu'on utilise la méthode de l'oscilloscope sans voltmètre à lecture moyenne, la tension intégrée maximale mesurée aux bornes de la bobine est:

$$(\int u dt)_{max} = N \cdot A \cdot \Delta B$$

2. – Pour les mesures en impulsions, un des circuits de l'article 16, dont le schéma est donné dans l'annexe M, peut être utilisé, en ajoutant un voltmètre multiplicateur selon les besoins.

- 4) Pour la méthode du voltmètre multiplicateur, le voltmètre est connecté pour la multiplication et on lit son indication.

Pour la méthode du pont, l'équilibre final est fait, les affichages du pont comparés à ceux d'avant la connexion avec le noyau assemblé sont notés et on lit la tension efficace aux bornes de la bobine assemblée.

Pour la méthode de l'oscilloscope, on photographie la figure enregistrée si possible de manière telle qu'elle comprenne les impulsions de tension étalon dans les deux coordonnées.

Note. – Une meilleure précision peut être obtenue quand on utilise une méthode numérique. Dans ce cas, la surface peut être calculée directement.

### 11.2.7 Calculs

#### 1) Méthode du voltmètre multiplicateur

Les pertes totales, en watts, dans le noyau sont données par:

$$P = (\overline{u \cdot i}) = \alpha \cdot K$$

où:

- $(\overline{u \cdot i})$  = moyenne du produit de la tension aux bornes de la bobine assemblée et du courant la traversant  
 $\alpha$  = lecture de l'appareil  
 $K$  = constante de l'appareil, calculée à partir de la sensibilité des deux voies, de la valeur  $R_i$  de la résistance de mesure du courant et de la déviation à pleine échelle de l'échelle appropriée de l'appareil

Pour les mesures en impulsions, la fréquence de répétition des impulsions  $f_p$  est choisie suivant le temps de récupération. Il est donc préférable, dans ce cas, d'exprimer les pertes en terme d'énergie par cycle  $E = (\overline{u \cdot i})/f_p$ . Pour une amplitude et une durée d'impulsions données,  $E$  est indépendant de  $f_p$  et en général  $P = E \cdot f_p$ .

Il convient de faire référence aux instructions du constructeur accompagnant l'instrument pour la conduite à tenir devant les erreurs susceptibles de se produire et leur correction.

- 2) When the temperature of the core is specified, it shall be placed in a temperature-controlled environment in accordance with Item 7 of Sub-clause 11.2.5. The measurement shall be made as quickly as possible to ensure that the self-heating of the coil and core is negligible.
- 3) The assembled coil is connected to the circuit and the generator is adjusted to give the specified voltage or current waveform at the specified frequency. The source voltage is adjusted so that the average voltage per half cycle, measured across the coil, is given by:

$$U_{av} = 2f \cdot N \cdot A \cdot \Delta B$$

where:

- $f$  = measuring frequency  
 $N$  = number of turns of the measuring coil or of the voltage winding of the measuring coil  
 $\Delta B$  = specified change in the flux density during the measurement. For flux density alternating in a symmetrical fashion with a peak value of  $B$ ,  $\Delta B = 2B$   
 $A$  = either the effective core area  $A_e$  or the nominal value of the smallest cross-section  $A_{min}$ , as required by the specification

All the dimensions used to calculate  $A_{min}$  shall be the mean values between the tolerance limits quoted on the appropriate piece part drawing

Notes 1. – When the oscilloscope method is used without an average-reading voltmeter, the maximum integrated voltage measured across the coil is:

$$(\int u dt)_{max} = N \cdot A \cdot \Delta B$$

2. – For pulse measurements, one of the circuits of Clause 16 of which a circuit diagram is given in Appendix M, may be used, with the addition of a multiplying voltmeter when appropriate.

- 4) For the multiplying voltmeter method, the voltmeter is switched for multiplication and its indication is read.

For the bridge method, the final balance is made, the bridge settings as compared with those before connection of the assembled core are noted and the r.m.s. voltage across the assembled coil is read.

For the oscilloscope method, the displayed loop is photographed, if possible in such a way that the calibration voltage pulses in both co-ordinates are included.

Note. – A better accuracy can be obtained when use is made of a digital processing method. In this case, the surface area can be derived directly.

### 11.2.7 Calculation

- 1) *Multiplying voltmeter method*

The total core loss in watts is given by:

$$P = (\overline{u \cdot i}) = \alpha \cdot K$$

where:

- $(\overline{u \cdot i})$  = time average of the product of the voltage across the assembled coil and the current through it  
 $\alpha$  = meter reading  
 $K$  = meter constant derived from the sensitivity of both channels, the value of the current-measuring resistor  $R_i$  and the full scale deflection of the appropriate meter scale

In the case of pulse measurements the pulse repetition frequency  $f_p$  is chosen by consideration of recovery time. It is therefore preferable, in this case, to express the loss in terms of energy per cycle,  $E = (\overline{u \cdot i})/f_p$ . For a given pulse amplitude and pulse duration,  $E$  is independent of  $f_p$  and in general  $P = E \cdot f_p$ .

Reference should be made to the manufacturer's instructions accompanying the instrument for advice on the errors likely to occur, and their correction.

2) *Méthode du pont*

La résistance parallèle équivalente  $R_p$  de la bobine assemblée est déterminée d'après les réglages des éléments du pont correspondants et les pertes totales, en watts, dans le noyau sont alors données par la relation suivante:

$$P = \frac{U^2}{R_p}$$

où:

$U$  = tension efficace aux bornes de la bobine de mesure pendant l'équilibre final

*Note.* – Cette tension est égale à celle qui existe aux bornes du générateur  $G$  à l'équilibre (voir article J2 de l'annexe J).

3) *Méthode de l'oscilloscope*

A l'aide des impulsions étalonnées, l'énergie par cycle  $E$  en joules est déterminée à partir de la surface du cycle. La perte totale du noyau, en watts, est donnée par:

$$P = f \cdot E$$

4) *Pertes spécifiques*

Les pertes spécifiques sont données soit par:

$$P_v = \frac{P}{v_e}, \text{ normalement exprimé en W/dm}^3 \text{ (} = \mu\text{W/mm}^3\text{)}$$

où:

$P_v$  = perte volumique

$v_e$  = volume effectif du noyau

soit par:

$$P_m = \frac{P}{m}, \text{ normalement exprimé en W/kg}$$

où:

$P_m$  = perte massique

$m$  = masse du noyau

## SECTION TROIS – MÉTHODES DE MESURE SPÉCIALISÉES

12. **Distorsion en troisième harmonique**12.1 *Objet*

Déterminer la distorsion en troisième harmonique engendrée dans un noyau.

12.2 *Terminologie*

Pour le but de la présente méthode, le coefficient du matériau en troisième harmonique est défini par:

$$\delta_B = \frac{E_3}{\mu_e \hat{B} U_1}$$

où:

$U_1$  = tension appliquée de la fréquence fondamentale

$E_3$  = force électromotrice de la fréquence du troisième harmonique engendrée par le noyau

$\hat{B}$  = valeur de crête de l'induction correspondant à  $U_1$

12.3 *Principe de la mesure*

Deux méthodes principales peuvent être utilisées:

2) *Bridge method*

The equivalent parallel resistance  $R_p$  of the assembled coil is determined from the settings of the appropriate bridge elements and the total core loss in watts is then given by:

$$P = \frac{U^2}{R_p}$$

where:

$U$  = r.m.s. voltage across the measuring coil during final balance

*Note.* — This voltage equals that across the generator  $G$  at balance (see Clause J2 of Appendix J).

3) *Oscilloscope method*

With the aid of the calibration pulses, the energy per cycle  $E$  in joules is determined from the loop area. The total core loss in watts is then given by:

$$P = f \cdot E$$

4) *Power loss density*

The power loss density is given by either:

$$P_v = \frac{P}{v_e}, \text{ normally expressed in W/dm}^3 (= \mu\text{W/mm}^3)$$

where:

$P_v$  = power loss (volume) density and  
 $v_e$  = effective core volume

or

$$P_m = \frac{P}{m}, \text{ normally expressed in W/kg}$$

where:

$P_m$  = power loss (mass) density and  
 $m$  = core mass

## SECTION THREE — SPECIALIZED MEASURING METHODS

12. **Third harmonic distortion**12.1 *Object*

To determine the third harmonic distortion generated in a core.

12.2 *Terminology*

For the purpose of this method, the third harmonic material constant is defined by:

$$\delta_B = \frac{E_3}{\mu_e \hat{B} U_1}$$

where:

$U_1$  = applied voltage of fundamental frequency

$E_3$  = electromotive force of third harmonic frequency generated by the core

$\hat{B}$  = peak value of flux density corresponding to  $U_1$

12.3 *Principle of the measurement*

Two principal methods are possible:

1) *Méthode à basse impédance*

Un oscillateur fournit un courant de fréquence fondamentale à la bobine de mesure placée sur le noyau, par l'intermédiaire d'un filtre qui bloque l'oscillateur à la fréquence du troisième harmonique. Le circuit en série avec la bobine de mesure présente une impédance à la fréquence du troisième harmonique beaucoup plus basse que la réactance de la bobine de mesure à la même fréquence.

On mesure la tension du troisième harmonique sur une résistance connue dans le circuit (qui peut être la résistance totale en série avec la bobine). Le coefficient du matériau  $\delta_B$  se calcule à partir de cette valeur mesurée, de la tension fondamentale appliquée à la bobine de mesure, et des paramètres du circuit et de la bobine.

2) *Méthode à haute impédance*

Un oscillateur fournit un courant de fréquence fondamentale à la bobine de mesure placée sur le noyau par l'intermédiaire d'un filtre qui bloque l'oscillateur à la fréquence du troisième harmonique. Le circuit en série avec la bobine de mesure présente une impédance élevée à la fréquence du troisième harmonique, par rapport à celle de la bobine de mesure.

On mesure la force électromotrice du troisième harmonique engendrée dans la bobine. Le coefficient du matériau  $\delta_B$  se calcule à partir de cette valeur mesurée, de la tension fondamentale appliquée à la bobine de mesure, et des paramètres du circuit et de la bobine.

*Note.* — Lorsque l'impédance en série avec la bobine de mesure est suffisamment élevée, la force électromotrice peut être mesurée comme la tension développée aux bornes de la bobine. Dans le cas contraire, il faut utiliser une méthode d'injection (voir le paragraphe 12.6, point 4)).

12.4 *Echantillons*

Pour les mesures, on doit utiliser des noyaux pris dans la production normale.

12.5 *Instruments de mesure*

On peut utiliser tout instrument de mesure disponible dans le commerce, convenant pour la mesure du troisième harmonique, ou un ensemble d'équipement de mesure à caractéristiques convenables. Un exemple d'un circuit convenant pour la méthode à basse impédance est donné dans l'annexe K.

On devra satisfaire aux exigences suivantes:

- 1) L'imprécision de la tension mesurée ne doit pas dépasser 5%.
- 2) Les éléments du circuit au voisinage de l'échantillon ne doivent pas montrer virtuellement de distorsion non linéaire. Avec un élément linéaire à la place de l'échantillon (par exemple une bobine à air), le troisième harmonique doit être à un niveau d'au moins 120 dB au-dessous du fondamental.

On devra disposer d'un dispositif convenable à non-linéarité connue pour vérifier le système de mesure, par exemple un circuit résistif avec diode Zener.

*Note.* — Les conditions requises pour les filtres découlent des conditions ci-dessus et dépendent du circuit de mesure choisi. Quelques détails sont donnés dans l'annexe K.

12.6 *Procédé de mesure*

- 1) Le noyau est assemblé avec une bobine de mesure conformément au paragraphe 4.3.
- 2) Lorsqu'on utilise la méthode à haute impédance, l'inductance de la bobine est mesurée conformément au paragraphe 7.3 afin d'obtenir la perméabilité effective du noyau.
- 3) Mesure directe:  
La bobine est connectée au circuit de mesure. Le circuit est réglé à la fréquence spécifiée et la tension du troisième harmonique mesurée conformément au procédé approprié pour ce circuit.

1) *Low impedance method*

An oscillator supplies current at fundamental frequency to the measuring coil on the core; a filter blocks any third harmonic current generated in the oscillator. The circuit in series with the measuring coil has an impedance, at the third harmonic frequency, which is much smaller than the reactance of the measuring coil at the same frequency.

The third harmonic voltage is measured across a known resistance in the circuit (which may be the total resistance in series with the coil). The material constant  $\delta_B$  is calculated from this measured value, the fundamental voltage applied to the measuring coil, and the circuit and coil parameters.

2) *High impedance method*

An oscillator supplies current at fundamental frequency to the measuring coil on the core; a filter blocks any third harmonic current generated in the oscillator. The circuit in series with the measuring coil has an impedance, at third harmonic frequency, which is much larger than the reactance of the measuring coil at the same frequency.

The third harmonic electromotive force developed in the coil is measured. The material constant  $\delta_B$  is calculated from this measured value, the fundamental voltage applied to the measuring coil, and the circuit and coil parameters.

*Note.* – When the impedance in series with the measuring coil is high enough, the electromotive force can be measured as the voltage developed across the coil. When this is not the case, an injection method should be used (see Item 4) of Sub-clause 12.6).

12.4 *Specimens*

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

12.5 *Measuring instruments*

Any suitable commercially available third harmonic measuring instrument, or an arrangement of measuring equipment having suitable characteristics may be used. An example of a circuit suitable for the low impedance method is given in Appendix K.

The following requirements shall be met:

- 1) The inaccuracy of the measured voltage shall be less than 5%.
- 2) Circuit components in the neighbourhood of the specimen shall be virtually free from non-linear distortion. With a linear component in the place of the specimen (e.g. an air cored coil), the third harmonic shall be at least 120 dB below the fundamental.

For checking the measuring system a suitable device with known non-linearity should be provided, e.g. a Zener diode resistor network.

*Note.* – Requirements for the filters follow from the above requirements and depend upon the chosen measuring circuit. Some details are given in Appendix K.

12.6 *Measuring procedure*

- 1) The core is assembled with a measuring coil in accordance with Sub-clause 4.3.
- 2) When the high impedance method is used, the inductance of the coil is measured in accordance with Sub-clause 7.3 to obtain the effective permeability of the core.
- 3) Direct measurement:  
The coil is inserted in the measuring circuit. The measuring circuit is adjusted to the specified frequency and the third harmonic voltage is measured in accordance with the procedure appropriate to that circuit.

## 4) Méthode d'injection:

Dans la méthode à haute impédance, lorsque l'impédance en série avec la bobine de mesure n'est pas assez élevée par rapport à celle de la bobine, il faut connecter la bobine au circuit en série avec une résistance ayant une faible valeur connue (par exemple 1  $\Omega$ ).

Le circuit de mesure est réglé conformément au procédé approprié pour ce circuit. On applique la tension à la fréquence fondamentale au circuit et on note la déviation du voltmètre indiquant le troisième harmonique. On supprime alors la tension fondamentale et on applique la tension du troisième harmonique à la résistance placée en série avec la bobine. Quand on note la même déviation au voltmètre indiquant le troisième harmonique, on admet que la tension appliquée à la résistance est égale à la force électromotrice. Cette tension appliquée doit alors être mesurée.

## 12.7 Calcul

Le coefficient du matériau en troisième harmonique  $\delta_B$  se calcule comme suit:

- 1) Lorsqu'on utilise la méthode à basse impédance et que l'on mesure la tension du troisième harmonique:

$$\delta_B = \frac{3 \omega_1^2 \mu_0 N^3}{C_2 R \sqrt{2}} \cdot \frac{U_3}{U_1^2}$$

où:

$\omega_1$  = pulsation fondamentale

$U_1$  = tension fondamentale appliquée à la bobine de mesure

$U_3$  = tension du troisième harmonique mesurée aux bornes d'une résistance connue  $R$  dans le circuit (qui peut être la résistance totale du circuit en série avec la bobine)

- 2) Lorsqu'on utilise la méthode à haute impédance:

$$\delta_B = \frac{\omega_1 N A_e}{\mu_e \sqrt{2}} \cdot \frac{E_3}{U_1^2}$$

où:

$E_3$  = force électromotrice de la fréquence du troisième harmonique engendrée par le noyau

$A_e$  = surface effective de la section transversale du noyau (voir la Publication 205 de la CEI)

Note. - A l'extrémité inférieure de la gamme de fréquences d'un matériau, le coefficient du matériau en troisième harmonique est lié approximativement au coefficient d'hystérésis du matériau par la relation suivante:

$$\eta_B \approx \frac{5}{3} \delta_B$$

L'expression ci-dessus est exacte seulement dans les cas où la relation de Rayleigh-Jordan est valable.

## 13. Sensibilité au choc magnétique

## 13.1 Objet

Fournir une méthode de détermination de la variation de la perméabilité effective d'un noyau soumis à une seule impulsion d'aimantation.

## 13.2 Terminologie

Pour les besoins de cette méthode, la sensibilité d'un noyau au choc magnétique  $K_s$  est définie comme étant le rapport de la différence entre la perméabilité effective après conditionnement magnétique ( $\mu_{ec}$ ) et la perméabilité effective après application d'une impulsion d'aimantation ( $\mu_{em}$ ) à la première perméabilité effective mentionnée:

$$K_s = \frac{\mu_{em} - \mu_{ec}}{\mu_{ec}}$$

## 4) Injection method:

When using the high impedance method, if the impedance in series with the measuring coil is not sufficiently high relative to that of the coil, the measuring coil is connected in the circuit in series with a resistor of known small value (e.g. 1  $\Omega$ ).

The measuring circuit is adjusted in accordance with the procedure appropriate to that circuit. The voltage of the specified fundamental frequency is applied to the circuit and the deflection of the third harmonic voltmeter noted. The fundamental voltage is then removed and a third harmonic voltage is applied across the resistor in series with the coil. When the same deflection of the third harmonic voltmeter in the circuit is obtained, the voltage applied across the resistor is assumed equal to the electromotive force. This applied voltage shall then be measured.

## 12.7 Calculation

The third harmonic material constant  $\delta_B$  is calculated as follows:

- 1) When the low impedance method is used and the third harmonic voltage is measured:

$$\delta_B = \frac{3 \omega_1^2 \mu_0 N^3}{C_2 R \sqrt{2}} \cdot \frac{U_3}{U_1^2}$$

where:

$\omega_1$  = fundamental angular frequency

$U_1$  = fundamental voltage applied to the measuring coil

$U_3$  = third harmonic voltage measured across a known resistance  $R$  in the circuit (which may be the total circuit resistance in series with the coil)

- 2) When the high impedance method is used:

$$\delta_B = \frac{\omega_1 N A_e}{\mu_e \sqrt{2}} \cdot \frac{E_3}{U_1^2}$$

where:

$E_3$  = electromotive force of third harmonic frequency generated by the core

$A_e$  = effective cross-sectional area of the core (see IEC Publication 205)

*Note.* – At the lower end of the frequency range of a material, the third harmonic material constant is approximately related to the hysteresis material constant by the following expression:

$$\eta_B \approx \frac{5}{3} \delta_B$$

The above expression is exact only in cases where the Rayleigh-Jordan relationship is valid.

## 13. Magnetic shock sensitivity

## 13.1 Object

To provide a method for the determination of the change in effective permeability of a core caused by a single impulse of magnetization.

## 13.2 Terminology

For the purpose of this method, magnetic shock sensitivity  $K_s$  of a core is defined as the ratio of the difference between the effective permeability after magnetic conditioning ( $\mu_{ec}$ ) and the effective permeability after application of an impulse of magnetization ( $\mu_{em}$ ), to the first mentioned effective permeability:

$$K_s = \frac{\mu_{em} - \mu_{ec}}{\mu_{ec}}$$

### 13.3 Principe de la mesure

Le noyau est soumis au conditionnement magnétique et on mesure l'inductance correspondant à la perméabilité initiale. Un champ magnétique statique saturant le matériau est appliqué pendant un court instant (choc magnétique) après lequel on mesure à nouveau l'inductance. La sensibilité au choc magnétique est calculée à partir des valeurs mesurées, conformément au paragraphe 13.2.

### 13.4 Echantillons

Pour la mesure, on doit utiliser des noyaux pris dans la fabrication normale. Si l'on désire évaluer la sensibilité au choc magnétique d'un matériau, on doit utiliser des tores comme échantillons.

### 13.5 Générateur d'impulsions

Le générateur d'impulsions doit être capable de fournir un courant continu pendant environ 2 s et ensuite de réduire le courant continu jusqu'à zéro en 2 s environ de façon à éviter des oscillations.

*Note.* — Dans le cas spécial des bobines de charge, les temps définissant l'impulsion de courant doivent être chacun d'environ 5 s.

### 13.6 Dispositif de chronométrage

L'imprécision de chaque mesure de temps ne doit pas dépasser 1 %.

*Note.* — En principe, le temps de référence doit être l'instant où le champ commence à diminuer à partir de la valeur de saturation. A la fois le conditionnement magnétique et l'aimantation par impulsion sont courts comparés à la tolérance de  $\pm 10$  s sur le temps spécifié au paragraphe 13.7, sauf dans le cas des bobines de charge.

### 13.7 Processus de mesure

- 1) Le noyau est assemblé avec la bobine de mesure conformément au paragraphe 4.3.

Dans le cas d'un bobinage toroïdal, les spires doivent être réparties de façon à maintenir aussi faibles que possible la capacité répartie et le champ de fuite.

La bobine ne doit pas être indûment chauffée par l'impulsion de courant.

- 2) Le noyau doit être soumis au conditionnement magnétique à l'aide d'une des méthodes indiquées au paragraphe 6.3, point 1), avec un courant alternatif décroissant dans la bobine de mesure. La méthode utilisée doit être spécifiée ainsi que les caractéristiques principales du dispositif de conditionnement.
  - 3)  $300 \pm 10$  s après le conditionnement magnétique, on mesure l'inductance en accord avec le paragraphe 7.4. Pendant la mesure, la valeur maximale de l'induction ne doit dépasser 0,25 mT dans aucune partie du noyau et elle ne doit pas être appliquée pendant plus de 1 min. La fréquence de mesure doit être spécifiée.
  - 4) Immédiatement après la mesure d'inductance de 3), on applique à la bobine de mesure une impulsion de courant continu saturant le noyau (voir paragraphe 13.5).
- Note.* — Dans certains cas, il est possible qu'on ne puisse atteindre la saturation. En pratique, le nombre de spires de la bobine et le courant seront spécifiés.
- 5)  $300 \pm 10$  s après la fin de l'impulsion de courant continu, on mesure à nouveau l'inductance dans des conditions identiques à celles de la mesure du paragraphe 13.7, point 3).

### 13.3 Principle of the measurement

The core is magnetically conditioned and the inductance corresponding to initial permeability is measured. A static magnetic field saturating the material is applied for a short time (magnetic shock), after which the inductance is again measured. The magnetic shock sensitivity is calculated from these measured values in accordance with Sub-clause 13.2.

### 13.4 Specimens

Cores taken from normal production shall be used for the measurement. When it is desired to judge the magnetic shock sensitivity of a material, toroids may be used as specimens.

### 13.5 Pulse generator

The pulse generator shall be capable of maintaining a direct current for approximately 2 s and then reducing the current to zero over a period of approximately 2 s in such a way that oscillations are avoided.

*Note.* — For the special case of loading coils, these times defining the current pulse shall each be approximately 5 s.

### 13.6 Timing device

The inaccuracy of any elapsed time measurement shall not exceed 1%.

*Note.* — In principle, the reference time shall be the moment when the field strength starts to decrease from the saturation value. Both the magnetic conditioning and the impulse magnetization are short compared with the time tolerance of  $\pm 10$  s specified in Sub-clause 13.7, except in the case of loading coils.

### 13.7 Measuring procedure

- 1) The core is assembled with the measuring coil in accordance with Sub-clause 4.3.

In the case of a toroidal winding, the turns shall be distributed in such a way as to keep both the stray capacitance and the stray field as low as possible.

The coil shall not be unduly heated by the current pulse.

- 2) The core shall be subjected to magnetic conditioning by one of the methods of Sub-clause 6.3, Item 1), with a decreasing alternating current through the measuring coil. The method used shall be stated together with the main characteristics of the conditioning device.
- 3)  $300 \pm 10$  s after magnetic conditioning, the inductance is measured in accordance with Sub-clause 7.4. During measurement, the peak value of flux density in any core part shall not exceed 0.25 mT and it shall be applied for not more than 1 min. The measuring frequency shall be stated.
- 4) Immediately after the inductance measurement of 3), a direct current pulse saturating the core is applied to the measuring coil (see Sub-clause 13.5).

*Note.* — In some cases, it may not be possible to achieve saturation. In practice, the number of turns of the coil and the current will be specified.

- 5)  $300 \pm 10$  s after the end of the direct current pulse, the inductance is again measured under conditions identical to those during the measurement of Sub-clause 13.7, Item 3).

### 13.8 Calcul

La sensibilité au choc magnétique  $K_s$  est calculée à partir de:

$$K_s = \frac{(L_m - L_c)}{L_c}$$

où:

$L_c$  = inductance mesurée au paragraphe 13.7, point 3)

$L_m$  = inductance mesurée au paragraphe 13.7, point 5)

*Note.* – Pour les noyaux avec entrefer, il est possible d'estimer le comportement d'un noyau à partir d'une mesure sur un autre noyau de mêmes dimensions, même forme et même matériau mais d'entrefer différent, quand les perméabilités effectives des noyaux sont à l'intérieur de la gamme de 10% à 50% de la perméabilité initiale du matériau, donc:

$$K_{s2} = \frac{\mu_{e2}}{\mu_{e1}} K_{s1}$$

où:

$K_{s1}$  = sensibilité au choc magnétique mesurée sur un noyau de perméabilité effective  $\mu_{e1}$

$K_{s2}$  = sensibilité au choc magnétique calculée pour un noyau de mêmes dimensions, même forme, même matériau avec une perméabilité effective  $\mu_{e2}$

Il est toutefois impossible de prévoir le comportement d'un noyau avec entrefer à partir de mesures de sensibilité au choc magnétique effectué sur un noyau sans entrefer. Cela est dû à l'effet démagnétisant de l'entrefer.

## 14. Contribution du dispositif de réglage à l'instabilité du noyau

### 14.1 Objet

Etablir les mérites relatifs de différents types de dispositifs de réglage en ce qui concerne leur stabilité d'utilisation dans les noyaux magnétiques.

*Notes 1.* – Les variations réversibles telles que celles causées par les variations de température ne sont pas du domaine de cette méthode.

2. – L'instabilité d'un ensemble accordé est généralement attribuée aux petits déplacements dus au relâchement des tensions mécaniques. Dans des conditions normales, cette relaxation peut durer assez longtemps, par exemple plusieurs années.

### 14.2 Terminologie

Les définitions du paragraphe 10.2 sont applicables à cette méthode avec les définitions suivantes:

- 1) *Noyau (assemblé)*: noyau magnétique assemblé autour d'une bobine de mesure et apte à être utilisé avec un dispositif de réglage, mais sans le bâtonnet de réglage lui-même. Sauf spécification contraire, la partie fixe du dispositif de réglage est liée mécaniquement à ce noyau.
- 2) *Ensemble accordé*: noyau assemblé dans lequel le bâtonnet de réglage a été introduit. Cela n'implique pas que l'ensemble ait été ajusté à une inductance spécifiée.

### 14.3 Principe de la méthode

Un noyau assemblé est stabilisé en appliquant un nombre approprié de cycles thermiques. Lorsque l'instabilité résiduelle de l'inductance mesurée du noyau assemblé est suffisamment faible, le bâtonnet de réglage est introduit dans le noyau et l'instabilité de l'ensemble accordé est mesurée pendant un nombre donné de cycles.

*Note.* – Cette méthode, appliquée séparément, vérifie l'instabilité du dispositif de réglage causée par le vieillissement normal. Il est possible de combiner cette méthode avec des essais climatiques ou mécaniques de la Publication 68 de la CEI tels que les secousses, les vibrations et l'humidité.

### 13.8 Calculation

The magnetic shock sensitivity  $K_s$  is calculated from:

$$K_s = \frac{(L_m - L_c)}{L_c}$$

where:

$L_c$  = self-inductance measured in Sub-clause 13.7, Item 3)

$L_m$  = self-inductance measured in Sub-clause 13.7, Item 5)

*Note.* – For cores with air-gap, it is possible to estimate the behaviour of one core from measurement on another of the same size, shape and material but with different air-gap, when the effective permeabilities of both cores lie within the range 10% to 50% of the initial permeability of the material, thus:

$$K_{s2} = \frac{\mu_{e2}}{\mu_{e1}} K_{s1}$$

where:

$K_{s1}$  = magnetic shock sensitivity measured on the core with effective permeability  $\mu_{e1}$

$K_{s2}$  = derived magnetic shock sensitivity for a core of the same size, shape and material with effective permeability  $\mu_{e2}$

It is, however, impossible to predict the behaviour of a core with air-gap from measurement of the magnetic shock sensitivity made on a core without air-gap. This is due to the demagnetization effect of the air-gap.

## 14. Contribution of the adjusting device to the core instability

### 14.1 Object

To establish the relative merits of different types of adjusting devices with regard to their stability when used in magnetic cores.

*Notes 1.* – Reversible changes, such as those caused by temperature variation, are not within the scope of this method.

2. – The instability of a tuned assembly is generally attributable to small displacements due to mechanical stress relaxations. Under normal conditions, this relaxation can go on for a long time, e.g. several years.

### 14.2 Terminology

The definitions of Sub-clause 10.2 apply to this method together with the following definitions:

- 1) *Core (assembly)*: magnetic core assembled around a measuring winding and capable of being used with an adjusting device, but excluding the actual adjuster. Unless otherwise stated, the fixed part of the adjusting device is mechanically attached to that core.
- 2) *Tuned assembly*: core assembly in which the adjuster has been introduced. It does not imply that the assembly has been tuned to a specified inductance.

### 14.3 Principle of the method

A core assembly is stabilized by applying an appropriate number of thermal cycles. When the residual instability of the inductance measured on the core assembly is sufficiently low, the adjuster is introduced into the core and the instability of the inductance of the tuned assembly measured for a given number of cycles.

*Note.* – This method, when applied separately, will assess the instability of the adjusting device as caused by normal ageing. It is possible to combine this method with such environmental tests of IEC Publication 68 as bumping, vibration and humidity.

#### 14.4 Echantillons

Pour les mesures on doit utiliser des noyaux et des dispositifs de réglage pris dans la production normale.

Lorsque le dispositif de réglage est entièrement monté dans le noyau par le fabricant de composants, un jeu de noyaux stabilisés peut être utilisé pour contrôler les lots successifs de bâtonnets.

Lorsque la partie fixe du dispositif de réglage est montée dans le noyau par le fabricant de noyaux, il convient de stabiliser des noyaux faisant partie de lots successifs.

Lorsque l'emploi du dispositif de réglage n'est pas limité aux noyaux d'un fabricant, les dimensions des noyaux garantissant l'ajustement (telles que les limites du diamètre du trou) devront être indiquées ou un accord devra être obtenu entre les fabricants concernés.

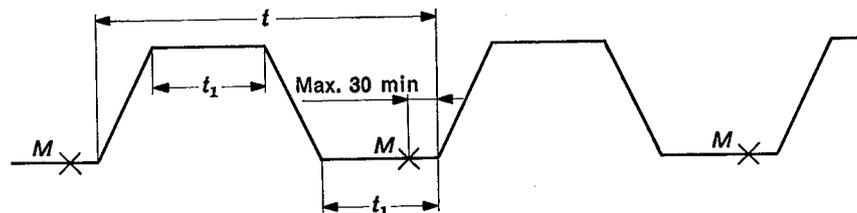
*Note.* – La contribution du dispositif de réglage à l'instabilité dépend de plusieurs facteurs étrangers au bâtonnet lui-même, tels que: la dimension du noyau (un même bâtonnet peut être utilisé pour plusieurs dimensions de noyaux), la géométrie du noyau, la perméabilité du matériau, la dimension de l'entrefer et l'influence de la géométrie du noyau sur la gamme de réglage. Une comparaison significative n'est possible qu'avec des noyaux pour lesquels les facteurs cités sont identiques. Il est donc nécessaire de normaliser ces facteurs.

#### 14.5 Chambre de conditionnement

La chambre doit être capable d'exécuter le cycle de température spécifié en 4 h. Elle doit remplir les exigences générales de la chambre à chaleur sèche spécifiée dans la Publication 68-2-2 de la CEI: Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique, Essais B: Chaleur sèche.

#### 14.6 Processus de mesure

- 1) Lorsque la partie fixe n'a pas été fixée dans une des parties du noyau par le fabricant, cela doit être fait suivant les instructions du fabricant.
- 2) Le noyau est assemblé avec la bobine de mesure conformément au paragraphe 4.3, en alignant les demi-noyaux suivant les instructions du fabricant. La facilité de l'introduction du bâtonnet de réglage doit être vérifiée et il faut également vérifier si l'assemblage du noyau répond aux exigences de la spécification correspondante. Par exemple, pour le réglage du type à vis dans les noyaux en pot, on doit vérifier l'excentricité de la partie fixe et les noyaux ne répondant pas aux exigences de la spécification ne doivent pas être utilisés.
- 3) Le noyau est alors placé dans la chambre de conditionnement sur un support non conducteur, dans une position permettant l'introduction du bâtonnet sans perturbation physique du noyau en relation avec son environnement. Les noyaux voisins ne doivent pas se toucher et les fils de connexion doivent être rigides.
- 4) Les noyaux assemblés doivent être soumis à une série de cycles de températures identiques illustrée dans la figure 2.



391/82

FIGURE 2

La température inférieure du cycle doit être de +30°C et la température supérieure de +70°C; pendant tout l'essai elles doivent être maintenues dans une tolérance de  $\pm 2^\circ\text{C}$  à l'exception des temps où l'inductance est mesurée (voir point 5, ci-après).

#### 14.4 Specimens

Cores and adjusting devices taken from normal production shall be used for the measurement.

Where the adjusting device is completely mounted in the core by the inductor manufacturer, one set of stabilized cores can be used to check successive batches of adjusters.

Where the fixed part of the adjusting device is mounted in the core by the core manufacturer, cores should be stabilized from successive core batches.

Where the use of the adjusting device is not limited to cores of one manufacturer, the core dimensions guaranteeing adequate fitting (such as hole diameter limits) shall be indicated, or agreement shall be reached between the manufacturers involved.

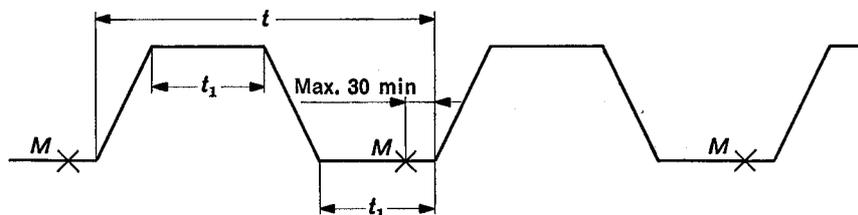
*Note.* – The contribution of the adjusting device to the instability depends on several factors external to the adjuster itself, such as: size of core (one adjuster may be used for several core sizes), geometry of core, material permeability, size of air-gap and adjustment range as affected by relation to core geometry. A significant comparison is only possible in the case of cores for which the factors quoted are identical. It is therefore necessary to standardize these factors.

#### 14.5 Conditioning chamber

The chamber shall be capable of performing the specified temperature cycle within 4 h. It shall meet the general requirements for the dry heat chamber specified in IEC Publication 68-2-2: Basic Environmental Testing Procedures, Tests B: Dry Heat.

#### 14.6 Measuring procedures

- 1) If the fixed part has not been attached to one of the core parts by the manufacturer, this shall be done according to the manufacturer's instructions.
- 2) The core is assembled with the measuring coil in accordance with Sub-clause 4.3, the half cores being aligned in accordance with the manufacturer's instructions. The easy introduction of the adjuster shall be checked and it shall also be verified whether the tuned assembly meets the relevant requirements of its specification. For example, for screw-type adjusters in pot cores, the eccentricity of the fixed part shall be checked and cores not complying with the specification requirements shall not be used.
- 3) The core is then placed in the conditioning chamber on a non-conducting shelf, in a position permitting insertion of the adjuster without physical disturbance of the core in relation to its environment. Neighbouring cores shall not touch each other and connecting leads shall be rigid.
- 4) The core assembly shall be subjected to a series of identical temperature cycles as illustrated in Figure 2.



391/82

FIGURE 2

The lower temperature of the cycle shall be  $+30^{\circ}\text{C}$  and the upper  $+70^{\circ}\text{C}$ ; throughout the test these shall be maintained within a tolerance of  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  except when the inductance is being measured (see Item 5, following).

La durée du cycle  $t$  doit être de 4 h à 10 h, selon la dimension du noyau, mais elle peut aussi être choisie de 24 h ou d'une autre valeur convenable dans le cas d'opération manuelle. Les régions à température constante  $t_1$  doivent être de durée égale, d'au moins 1 h 30 min. Les points  $M$  indiquent les instants de mesure de l'inductance; ils ne doivent pas être à plus de 30 min de l'instant où la température commence à s'élever.

Les intervalles de temps du cycle étant choisis, ils doivent être maintenus dans une tolérance de  $\pm 0,5\%$  de cet intervalle d'un bout à l'autre de la séquence de mesures.

*Note.* – Dans des circonstances spéciales, on peut exiger que la plus basse température soit au-dessous de 30°C. Dans ce cas, on choisira une température normale en accord avec la Publication 68-2-1 de la CEI, Essais A: Froid.

- 5) L'inductance est mesurée conformément au paragraphe 7.4, de préférence par une méthode à «oscillateur non asservi». De plus, la valeur de crête de l'induction ne doit dépasser 2,5 mT dans aucune partie du noyau et elle doit être maintenue à la valeur choisie à  $\pm 0,005$  mT pour toutes les mesures. Le courant de mesure ne doit pas être appliqué pendant plus de 1 min pour chaque mesure. La différence entre les températures du noyau entre deux mesures quelconques ne doit pas dépasser 0,4°C.

La méthode utilisée et les principales caractéristiques du dispositif de mesure doivent être indiquées.

On ne doit jamais appliquer le conditionnement magnétique pendant la succession des mesures.

*Note.* – La tolérance sur l'induction a été choisie de façon à s'assurer que la variation de l'inductance relative qui en résulte est inférieure à  $50 \times 10^{-6}$ .

- 6) On doit continuer les séries de cycles jusqu'à ce que la différence entre deux quelconques de trois mesures successives de variation relative d'inductance prises aux temps de mesure  $M$  ne dépasse pas  $150 \times 10^{-6}$ .

*Note.* – Si on trouve que les résultats obtenus selon le paragraphe 14.7 ne sont pas substantiellement plus grands que cette valeur, l'essai peut être répété en utilisant une valeur convenable suffisamment faible.

- 7) Le bâtonnet doit alors être soigneusement introduit dans le noyau, manœuvré deux fois dans la gamme de réglage totale et réglé en position électrique médiane sans perturber le noyau, la bobine, les sorties, etc. Cette opération doit être réalisée moins de 30 min après que le noyau a atteint la température de 30°C (voir la note au paragraphe 14.6, point 4)).

- 8) L'application des cycles doit continuer pendant au moins six cycles sans qu'aucune irrégularité ne soit introduite par l'opération de mise en place du bâtonnet, les mesures d'inductance étant faites comme spécifié au paragraphe 14.6, point 5).

- 9) Lorsqu'un nombre suffisant de cycles a été effectué, le bâtonnet doit être enlevé avec le même soin que celui apporté lors de la mise en place pendant la période de moins de 30 min après que le noyau a atteint la température de 30°C (voir la note au paragraphe 14.6, point 4)), après quoi le noyau assemblé doit être soumis à un cycle de température additionnel.

La valeur de l'inductance obtenue au point de mesure suivant  $M$  ne doit pas différer de plus que  $150 \times 10^{-6}$  de la moyenne des trois dernières mesures indiquées au paragraphe 14.6, point 6). Lorsque la différence dépasse cette valeur, les résultats d'essai du bâtonnet ne doivent pas être pris en considération et le procédé, y compris la vérification de la stabilité du noyau, doit être répété.

#### 14.7 Calcul

La variation relative d'inductance de l'ensemble accordé par rapport à la première mesure d'inductance du paragraphe 14.6, point 8) doit être portée sur une courbe, rapportée aux axes représentés dans la figure 3, page 64.

The cycle time  $t$  shall be between 4 h and 10 h depending on the core size, but it may also be chosen to be 24 h or another convenient value in the case of manual operation. The constant temperature regions  $t_1$  shall be equal in duration and not less than 1 h 30 min. The points  $M$  indicate the time of inductance measurement; it shall be not more than 30 min before the time at which the temperature starts to rise.

The time intervals of the cycle having been chosen, they shall be maintained with a tolerance of  $\pm 0.5\%$  of the interval throughout the whole sequence.

*Note.* – In special circumstances, it may be required that the lower temperature should be below  $30^\circ\text{C}$ . In that case, a standard temperature should be chosen in accordance with IEC Publication 68-2-1: Tests A: Cold.

- 5) The inductance is measured in accordance with Sub-clause 7.4, preferably with a “free-running oscillator” method. In addition, the peak value of the flux density in any part of the core shall not exceed 2.5 mT and it shall be maintained at the chosen value within  $\pm 0.005$  mT for all measurements. The measuring current shall not be applied for more than 1 min for each measurement. The difference in core temperature at any two measurements shall not exceed  $0.4^\circ\text{C}$ .

The method used and the main characteristics of the measuring apparatus shall be stated.

No magnetic conditioning shall be applied to the core at any time during the measuring sequence.

*Note.* – The tolerance on the flux density has been chosen to ensure that the resulting relative change of inductance will be less than  $50 \times 10^{-6}$ .

- 6) The series of cycles shall continue until any two of three successive measurements of the fractional change of inductance performed at measuring times  $M$  do not differ by more than  $150 \times 10^{-6}$ .

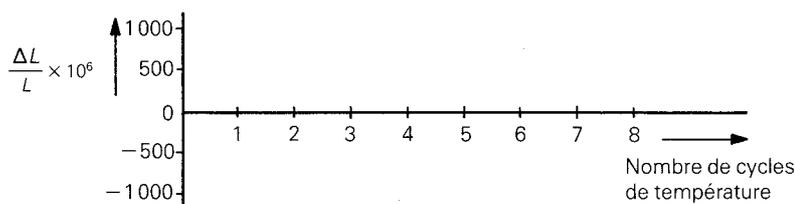
*Note.* – If it is subsequently found that the results obtained according to Sub-clause 14.7 are not substantially greater than this figure, the test may be repeated using a suitably lower figure.

- 7) The adjuster shall then be carefully introduced into the core, moved twice through the total adjustment range and adjusted to the nominal electrical mid-range position without disturbing the core, coil, leads etc. This operation shall be performed within 30 min of the core attaining the temperature of  $30^\circ\text{C}$  (see note to Sub-clause 14.6, Item 4)).
- 8) The cycling shall continue for at least six cycles without any irregularity being introduced by the operation of inserting the adjuster and the inductance measurements being made as specified in Sub-clause 14.6, Item 5).
- 9) When a sufficient number of cycles has been completed to allow a meaningful conclusion to be drawn, the adjuster shall be removed with the same care exercised during insertion, within 30 min of the core attaining the temperature of  $30^\circ\text{C}$  (see note to Sub-clause 14.6, Item 4)), after which the core assembly shall be subjected to an additional temperature cycle.

The value of the inductance obtained at the next measurement point  $M$  shall not differ from the average of the last three measurements referred to in Sub-clause 14.6, Item 6) by more than  $150 \times 10^{-6}$ . If the difference exceeds this figure, the test results on the adjuster shall be disregarded and the procedure, including the assessment of core stability, shall be repeated.

#### 14.7 Calculation

The relative change of inductance of the tuned assembly as compared to the first inductance measurement of Sub-clause 14.6, Item 8) shall be plotted on a graph with reference to axes as shown in Figure 3, page 65.



613/82

FIGURE 3

Pour permettre une comparaison significative, les résultats de l'essai devront être accompagnés d'une définition des conditions de l'essai du dispositif de réglage (modèle de noyau, entrefer, etc., voir la note au paragraphe 14.4). Le coefficient de température et la désaccommodation du noyau devront également être indiqués pour attirer l'attention sur les sources possibles d'erreurs de mesure.

## 15. Influence d'un champ magnétique statique

### 15.1 *Objet*

Fournir une méthode pour évaluer la variation de perméabilité causée par une variation d'aimantation statique.

### 15.2 *Principe de la mesure*

Un noyau est soumis au conditionnement magnétique et l'inductance correspondant à la perméabilité réversible est alors mesurée pour différentes valeurs du champ statique en partant d'un champ statique appliqué nul.

### 15.3 *Echantillons*

Des noyaux pris dans la fabrication courante ou des noyaux spécialement fournis dans le but de mesures de matériaux doivent être utilisés pour les mesures.

*Note.* – Il n'y a pas de relation simple entre les résultats des mesures effectuées sur des noyaux de mêmes dimensions avec différents entrefers.

### 15.4 *Bobine de mesure*

Toutes les bobines de mesure doivent convenir aux mesures d'inductance selon le paragraphe 7.4.

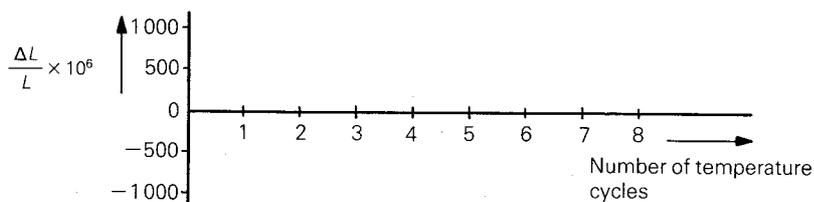
Le fil doit être choisi pour que, pendant la mesure avec le maximum de courant continu exigé, la variation d'inductance due à la variation de température soit négligeable.

Dans le cas de bobines avec deux enroulements, ceux-ci doivent avoir un couplage maximal; ils doivent être bobinés de préférence avec deux fils en parallèle de même diamètre.

*Note.* – Pour les mesures sur des noyaux à entrefer, on recommande d'utiliser des bobines avec le nombre de spires maximal compatible avec l'espace disponible et la valeur du courant.

### 15.5 *Processus de mesure*

- 1) Le noyau est assemblé avec la bobine de mesure en accord avec le paragraphe 4.3. Dans le cas de bobinage toroidal, les spires doivent être régulièrement réparties le long de la circonférence.
- 2) Le noyau doit être soumis au conditionnement magnétique selon l'article 6.



613/82

FIGURE 3

To allow meaningful comparison, a statement defining the test conditions of the adjusting device should accompany the measured results (type of core, air-gap, etc., see note to Sub-clause 14.4). The temperature coefficient and disaccommodation of the core should also be indicated to draw attention to possible sources of measurement error.

## 15. Influence of a static magnetic field

### 15.1 Object

To provide a method for evaluating the change in permeability caused by a change in static magnetization.

### 15.2 Principle of the measurement

A core is subjected to magnetic conditioning and then the inductance corresponding to the reversible permeability is measured for various values of the static field strength, starting at zero applied static field strength.

### 15.3 Specimens

Cores taken from current production, or cores especially provided for the purpose of material measurements shall be used for the measurement.

*Note.* – There is no simple relation between the results of measurements made on cores of the same size with different air-gaps.

### 15.4 Measuring coil

All measuring coils shall be suitable for measurement of inductance in accordance with Sub-clause 7.4.

The wire shall be such that, during measurement with the maximum direct current required, the inductance change due to change of temperature is negligible.

In the case of coils with two windings, these shall have the maximum coupling obtainable; preferably they shall be wound in parallel, with wire of the same diameter.

*Note.* – For measurement on gapped cores, it is recommended that the coils should employ as many turns as are consistent with available space and current capacity.

### 15.5 Measuring procedure

- 1) The core is assembled with the measuring coil in accordance with Sub-clause 4.3. In the case of toroidal winding, the turns shall be evenly distributed along the circumference.
- 2) The core shall be subjected to magnetic conditioning in accordance with Clause 6.

- 3) Quinze minutes après le conditionnement, l'inductance doit être mesurée conformément au paragraphe 7.4. Pendant la mesure, la valeur crête d'induction alternative ne doit dépasser 0,25 mT dans aucune partie du noyau. La fréquence du courant de mesure doit être spécifiée.
- 4) Le courant continu est alors réglé à la valeur spécifiée en partant de la plus faible valeur, jusqu'à la valeur maximale spécifiée. 3 min  $\pm$  15 s après chaque réglage de courant, l'inductance doit être mesurée à nouveau conformément au point 3).

Notes 1. – Les méthodes pour la mesure d'inductance en présence d'un champ statique sont données à l'annexe L.

2. – On devra prendre soin de régler le courant continu lentement en évitant de dépasser la valeur prévue du champ magnétique statique.
3. – Quand une valeur maximale est seulement spécifiée, quelques paliers intermédiaires devront être introduits.

## 16. Propriétés magnétiques en impulsions

### 16.1 Objet

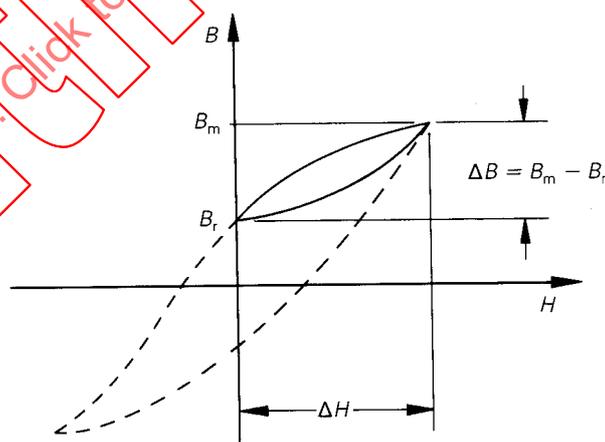
Fournir des méthodes de mesures pour les propriétés qui sont importantes quand on utilise les noyaux en impulsions, à savoir: l'inductance spécifique impulsionnelle ou la perméabilité en impulsions; et la non-linéarité du courant magnétisant associée à une limite spécifiée du produit tension-temps.

### 16.2 Terminologie

Pour les besoins de ces méthodes, les définitions suivantes s'appliquent:

#### 16.2.1 Fonctionnement sans champ superposé

Fonctionnement dans lequel un noyau est soumis à une impulsion de tension à partir d'une induction rémanente et jusqu'à une induction de valeur plus élevée, dans la même direction, et dans lequel le noyau revient à la même induction rémanente. L'excursion dans le plan  $B-H$  associée à une telle impulsion est représentée à la figure 4.



508/82

Fig. 4 – Fonctionnement sans champ superposé.

Note concernant les paragraphes 16.2.1 et 16.2.2

Si la f.c.é.m. pendant la récupération est limitée par la constante de temps du circuit d'essai, le courant magnétisant décroît alors exponentiellement.

La f.c.é.m. peut aussi être limitée à une valeur constante par le retour de l'énergie vers la source de tension par l'intermédiaire de l'enroulement secondaire. Le courant magnétisant décroît alors suivant une loi approximativement linéaire. Cette dernière méthode peut éviter les f.c.é.m. trop élevées et les grandes variations de flux. La distinction s'applique principalement aux mesures de pertes.

- 3) Fifteen minutes after conditioning, the inductance shall be measured in accordance with Sub-clause 7.4. During measurement, the peak value of the alternating flux density in any core part shall not exceed 0.25 mT. The frequency of the measuring current shall be stated.
- 4) The direct current is then subsequently adjusted to the specified values, starting with the lowest one, up to the maximum specified value. 3 min  $\pm$  15 s after each current adjustment, the inductance shall again be measured in accordance with Item 3).

*Notes 1.* – Methods for the inductance measurement in the presence of a static field are given in Appendix L.

2. – Care should be taken to adjust the direct current slowly to avoid overshoot of the static magnetic field.

3. – When a maximum value only is specified, some intermediate steps should be introduced.

## 16. Magnetic properties under pulse conditions

### 16.1 Object

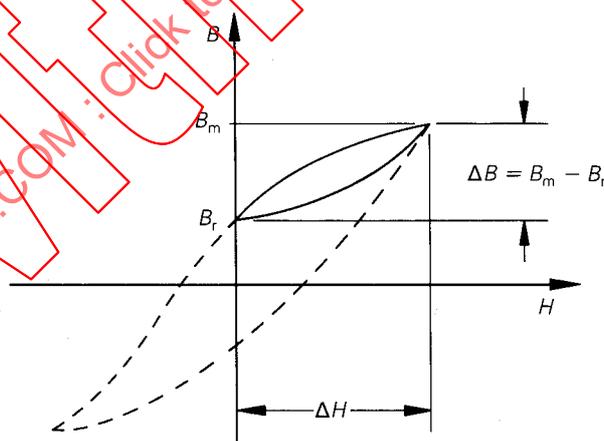
To provide measuring methods for the core properties which are of importance when using cores under pulse conditions, namely: the pulse inductance factor, or pulse permeability; and the non-linearity of the magnetizing current associated with a specified voltage-time product limit.

### 16.2 Terminology

For the purpose of these methods the following definitions apply:

#### 16.2.1 Pulse excitation without biasing field

An excitation in which a core is energized by a voltage pulse, from a remanent flux density to a higher value of flux density in the same direction, and in which the core recovers to the same remanent flux density. The excursion in the  $B$ - $H$  plane associated with such a pulse is shown in Figure 4.



508/82

FIG. 4 – Pulse excitation without biasing field.

*Note to Sub-clauses 16.2.1 and 16.2.2*

If the back-e.m.f. during recovery is limited only by the time constant of the test circuit, then the magnetizing current decays exponentially.

Alternatively the back-e.m.f. may be limited to a constant value, e.g. by returning the energy via a secondary winding to a voltage source; then the magnetizing current decay is approximately linear. The latter method can prevent excessively high back-e.m.f.s and high rates of change of flux. The distinction is mainly relevant to loss measurements.

### 16.2.2 Fonctionnement avec champ superposé

Fonctionnement dans lequel un noyau est soumis à une impulsion de tension à partir d'une valeur d'induction déterminée par un champ superposé et jusqu'à une induction de sens opposé et dans lequel le noyau revient à la valeur déterminée par le champ superposé. L'excursion dans le plan  $B-H$  associée à une telle impulsion est représentée à la figure 5.

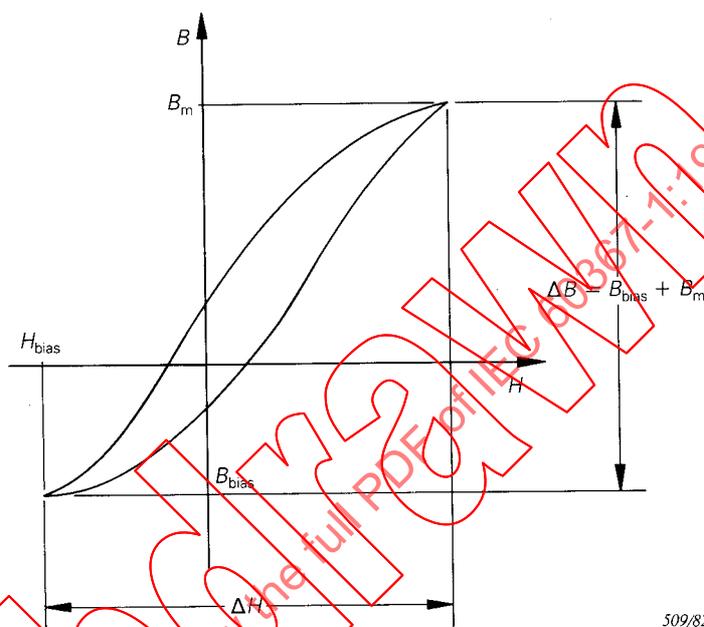


FIG. 5. — Fonctionnement avec champ superposé.

### 16.2.3 Perméabilité en impulsion $\mu_p$

Perméabilité relative obtenue à partir de la variation de l'induction et de la variation de champ correspondante quand on fait varier une des quantités arbitrairement entre deux limites spécifiées:

$$\mu_p = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta H} \quad (\text{voir figures 4, page 66, et 5, ci-dessus})$$

Notes 1. — La valeur de la perméabilité en impulsion dépend fortement des limites d'excursion de l'induction ou du champ. Ces limites ne sont pas forcément symétriques par rapport au zéro.

2. — La perméabilité en impulsion concerne souvent le cas spécial d'impulsions de tensions carrées appliquées à un bobinage d'excitation; l'induction est alors approximativement triangulaire.

### 16.2.4 Amplitude d'impulsion $U_m$

Valeur instantanée maximale que devrait avoir une impulsion de tension idéale par rapport à la valeur constante de tension entre impulsions. L'impulsion idéale est déduite de l'impulsion de tension réelle en excluant les phénomènes parasites tels que la suroscillation (voir figure 6, page 76).

### 16.2.5 Durée de l'impulsion $t_d$

Intervalle de temps pendant lequel la valeur instantanée de l'impulsion dépasse 50% de l'amplitude de l'impulsion (voir figure 6).

### 16.2.2 Pulse excitation with biasing field

An excitation in which a core is energized by a voltage pulse, from a value of the flux density determined by a biasing field to a flux density in the opposite direction, and in which the core recovers to the same value determined by the biasing field. The excursion in the  $B$ - $H$  plane associated with such a pulse is shown in Figure 5.

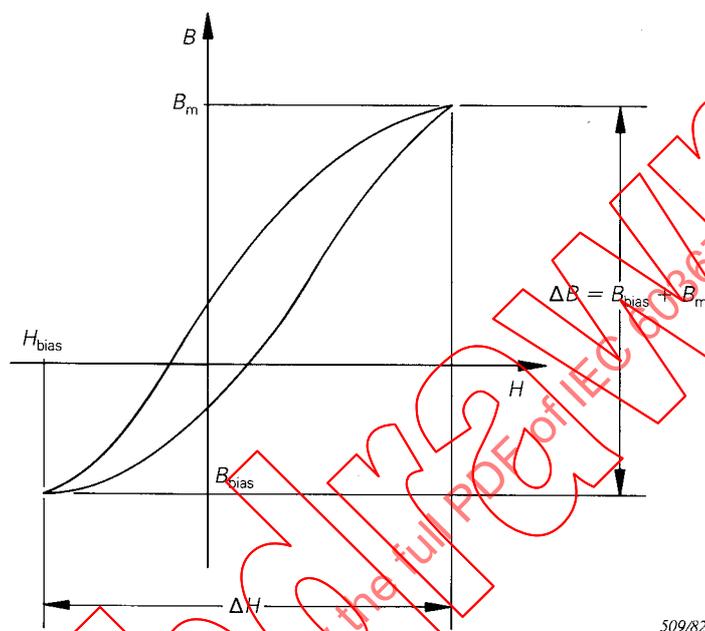


FIG. 5. — Pulse excitation with biasing field.

### 16.2.3 Pulse permeability $\mu_p$

The relative permeability obtained from the change of flux density and the corresponding change of the field strength when either quantity is varying in an arbitrary form between stated limits:

$$\mu_p = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta H} \quad (\text{see Figures 4, page 67, and 5, above})$$

Notes 1. — The value of the pulse permeability depends strongly on the limits of the flux density or field strength excursions; these limits need not be symmetrical with respect to zero.

2. — Often pulse permeability refers to the special case of square voltage pulses being applied to an exciting winding; the flux density waveform is then approximately triangular.

### 16.2.4 Pulse amplitude $U_m$

The maximum instantaneous value which an ideal voltage pulse would have with respect to the steady value of the voltage between pulses. An ideal pulse is derived from an actual voltage pulse by ignoring unwanted or non-pertinent phenomena such as overshoot (see Figure 6, page 77).

### 16.2.5 Pulse duration $t_d$

The time interval during which the instantaneous value of the pulse exceeds 50% of the pulse amplitude (see Figure 6).

### 16.2.6 Inductance impulsionnelle $L_p$

Amplitude de l'impulsion divisée par la vitesse moyenne de variation du courant magnétisant  $i_m$  dans une bobine d'essai de géométrie spécifiée et placée sur le noyau dans une position spécifiée:

$$L_p = \frac{U_m}{\Delta i_m / t_d}$$

où  $\Delta i_m$  est la variation totale de  $i_m$  pendant l'impulsion

Pour des impulsions unidirectionnelles  $\Delta i_m = \hat{i}_m$ .

### 16.2.7 Inductance spécifique impulsionnelle $A_{LP}$

Inductance impulsionnelle divisée par le carré du nombre de spires de la bobine d'essai:

$$A_{LP} = \frac{L_p}{N^2}$$

### 16.2.8 Limite du produit tension/temps $(U \cdot t)_{\text{lim}}$

Limite spécifiée du produit de l'amplitude d'une impulsion de tension par le temps écoulé depuis le début de l'impulsion. A l'intérieur de cette limite, la non-linéarité du courant magnétisant traversant la bobine placée sur le noyau ne doit normalement pas dépasser une valeur spécifiée.

### 16.2.9 Non-linéarité (en fonction du temps)

Rapport de la valeur instantanée réelle d'une caractéristique au temps  $t$  à la valeur atteinte par la portion linéaire extrapolée de la courbe en fonction du temps au même instant (voir aussi figure 8, page 80).

### 16.2.10 Cadence de répétition d'impulsions

Fréquence de récurrence des impulsions dans une séquence périodique d'impulsions.

## 16.3 Principe des méthodes

Le noyau est excité en appliquant des impulsions de tension carrée. Deux méthodes principales sont possibles:

- Les impulsions sont répétées à une fréquence de répétition convenable. La tension aux bornes de la bobine de mesure est redressée pour éliminer le dépassement négatif et mesurée avec un voltmètre donnant la valeur moyenne. Le courant magnétisant crête est également mesuré.
- On enregistre sur un oscilloscope étalonné convenablement à la fois la courbe du courant magnétisant en fonction du temps  $i_m(t)$  et la courbe de la tension intégrée par rapport au temps en fonction du courant magnétisant  $\int u dt (i_m)$ . Cette méthode peut être utilisée à la fois pour des impulsions réparties et isolées, la figure étant photographiée dans ce dernier cas.

L'inductance spécifique impulsionnelle ou la perméabilité en impulsions peuvent être déterminées par l'une des deux méthodes. La non-linéarité du courant magnétisant associée à une limite spécifiée du produit tension-temps peut seulement être déterminée par la seconde méthode.

### 16.2.6 Pulse inductance $L_p$

The pulse amplitude divided by the average rate of change of the magnetizing current  $i_m$  through a test coil of specified geometry placed on the core in a specified position:

$$L_p = \frac{U_m}{\Delta i_m / t_d}$$

where  $\Delta i_m$  is the total change in  $i_m$  during the pulse

For unidirectional drive pulses  $\Delta i_m = i_m$ .

### 16.2.7 Pulse inductance factor $A_{LP}$

The pulse inductance divided by the square of the number of turns of the test coil:

$$A_{LP} = \frac{L_p}{N^2}$$

### 16.2.8 Voltage-time product limit $(U \cdot t)_{lim}$

A specified limit of the product of the amplitude of a voltage pulse and the time elapsed from the start of the pulse. Within this limit the non-linearity of the magnetizing current through the measuring coil placed on the core should not exceed a specified value.

### 16.2.9 Non-linearity (with time)

The ratio of the actual instantaneous value of a characteristic at a time  $t$  to the value reached by the extrapolated linear portion of its graph versus time, at the same instant (see also Figure 8, page 81).

### 16.2.10 Pulse repetition rate

The frequency of recurrence of the pulses in a periodic sequence of pulses.

## 16.3 Principle of the methods

The core is excited by applying square voltage pulses. Two principal methods are possible:

- a) The pulses are repeated with a suitable repetition frequency. The voltage across the measuring coil is rectified to eliminate the back swing and measured with an average responding voltmeter. The peak magnetizing current is also measured.
- b) Both the curve of magnetizing current as a function of time  $i_m(t)$ , and the loop of voltage across the inductor integrated with respect to time as a function of the magnetizing current  $\int u dt (i_m)$ , are displayed on a properly calibrated oscilloscope. This method may be used for both repeated and single pulses, the display being photographed in the latter case.

The pulse inductance factor or the pulse permeability can be determined by either method; the non-linearity of the magnetizing current associated with a specified voltage-time product limit can only be determined by the second method.

#### 16.4 *Echantillons*

Des noyaux pris dans la fabrication normale et formant des circuits magnétiques complets doivent être utilisés pour la mesure.

#### 16.5 *Bobine de mesure*

Il convient de choisir le nombre de spires en relation avec les conditions de mesures, l'équipement utilisé et la précision à obtenir. La résistance et la capacité répartie de la bobine de mesure à la fréquence de mesure seront aussi faibles que possible pour rendre l'erreur négligeable. Le bobinage de mesure sera placé le plus près possible de la partie, ou des parties, du noyau spécifiées en feuille particulière. Il sera réparti uniformément dans cette zone. La disposition de ce bobinage se rapprochera autant que possible de celle qui est utilisée dans l'application du noyau. Dans le cas d'un noyau toroïdal les spires devront être réparties tout le long de la circonférence.

Quand il est impossible de rendre la résistance de la bobine assez faible pour que la tension appliquée puisse être assimilée à la f.é.m. avec une précision suffisante, on utilisera alors un double bobinage de mesure comprenant un enroulement tension et un enroulement courant. L'enroulement de tension aura une résistance beaucoup plus faible que l'impédance du voltmètre utilisé et sa capacité répartie sera suffisamment faible pour que l'erreur introduite soit négligeable. Il doit être bobiné aussi près que possible du noyau et l'enroulement de courant doit le recouvrir entièrement.

*Notes 1.* – Un écran électrostatique entre les deux enroulements peut être souhaitable.

2. – Lorsqu'on bobine sur un noyau à angles vifs on prendra soin de ne pas endommager l'isolation du fil.

#### 16.6 *Équipement de mesure*

N'importe quel équipement de mesure approprié peut être utilisé. Des exemples de circuits convenant pour les mesures avec récupération exponentielle sont donnés dans l'annexe M. Les exigences suivantes doivent être remplies:

##### a) *Générateur d'impulsions*

Le circuit d'essai étant réglé pour obtenir un dépassement et un temps de récupération appropriés, lorsqu'on branche la bobine, le générateur d'impulsions utilisé pour ces mesures doit fournir des impulsions de tension d'amplitude, de durée et de vitesse de répétition exigées et remplir les exigences générales suivantes:

- 1) réglée à une valeur donnée, l'amplitude de l'impulsion doit rester constante à mieux que 5%;
- 2) la puissance utile de la source doit être suffisante pour obtenir une impulsion de tension dont la chute en palier doit être inférieure à 10%;
- 3) la commutation doit être assez rapide pour ne pas affecter de façon significative le temps de montée et le temps de descente;
- 4) la suroscillation ne doit pas dépasser les limites spécifiées.

##### b) *Mesure du courant*

Le courant dans la bobine de mesure (ou son enroulement de courant) doit être mesuré soit par:

- 1) une sonde de courant qui produit un signal proportionnel au courant à mieux que 2% et qui, quand elle est branchée à l'oscilloscope, n'affecte pas défavorablement la chute de tension de l'impulsion, ou

#### 16.4 *Specimens*

Cores taken from normal production, and forming complete magnetic circuits, shall be used for the measurement.

#### 16.5 *Measuring coil*

The number of turns should be specified in relation to the measuring conditions, the equipment used and the accuracy to be obtained. The resistance and the self-capacitance of the measuring coil at the measuring frequency should be as low as is necessary to make the error negligible. The measuring coil should be situated as closely as possible to, and uniformly along, the part or parts of the core as specified, the winding arrangement normally approximating to that used with the core in its application. In the case of a toroidal core, the turns shall be evenly distributed along the circumference.

When it is impossible to make the coil resistance small enough for the applied voltage to approximate to the e.m.f. with sufficient accuracy, then a double winding measuring coil consisting of a voltage winding and a current winding should be used. The voltage winding should have a resistance very much smaller than the impedance of the attached voltmeter and its self-capacitance should be so small that the error it causes is negligible. It should be wound as close to the core as possible and the current winding shall completely cover the voltage winding.

*Notes 1.* – An electrostatic screen between the two windings may be desirable.

2. – When winding a coil onto a sharp-edged core, care should be taken that the wire insulation is not ruptured.

#### 16.6 *Measuring equipment*

Any suitable measuring equipment may be used. Examples of appropriate circuits for measurement with exponential recovery are given in Appendix M. The following requirements shall be met:

##### a) *Pulse generator*

When connected to the coil, the test circuit being adjusted for the appropriate back swing and recovery time, the pulse generator used for these measurements shall supply voltage pulses of the required amplitude, duration and repetition rate and meet the following general requirements:

- 1) when adjusted to a given value, the pulse amplitude shall remain constant within 5%;
- 2) the power available from the source shall be sufficient to obtain a voltage pulse having a droop not exceeding 10%;
- 3) the switching shall be fast enough not to affect the rise time and the fall time significantly;
- 4) the overshoot shall not exceed the specified limits.

##### b) *Current measurement*

The current through the measuring coil (or its current winding) shall be measured by means of either:

- 1) a current probe which yields a signal proportional to the current within 2% and which, when connected to the oscilloscope, does not adversely affect the voltage pulse droop; or

2) une résistance de précision connectée entre la bobine d'essai et la terre qui cause une chute de tension inférieure à 1% de l'amplitude de l'impulsion nominale et présente une inductance négligeable.

c) *Temps de récupération*

Pour des mesures avec des impulsions répétées, la constante de temps du circuit de mesure doit avoir une valeur telle que le temps de récupération soit plus petit que l'intervalle entre les impulsions afin de s'assurer que le flux dans le noyau revient à sa valeur initiale.

d) *Voltmètre*

Quand on utilise la méthode du voltmètre donnant la valeur moyenne, le voltmètre doit être de la classe 1 ou mieux\* et la diode doit être choisie de telle façon que l'erreur introduite soit négligeable.

e) *Méthode de l'oscilloscope*

Quand on utilise la méthode de l'oscilloscope la constante de temps du circuit d'intégration de la tension doit être supérieure à 100 fois la durée de l'impulsion ou 100 fois la constante de temps effective de récupération, selon la plus grande et sa dérive de phase sera aussi faible que possible.

Des moyens d'étalonnage appropriés doivent être prévus pour l'affichage de la tension et du courant afin d'obtenir une précision totale meilleure que 5% sur l'inductance spécifique impulsionnelle mesurée.

Les câbles de connexions à l'oscilloscope doivent être du type à faible capacité (par exemple des câbles isolés à l'air).

## 16.7 Procédé de mesure

### 16.7.1 Généralités

- le noyau à mesurer est assemblé avec la bobine de mesure en accord avec les paragraphes 4.3 et 7.2;
- pour les mesures avec des impulsions répétées, la vitesse de répétition des impulsions est choisie de telle sorte que l'échauffement de la bobine et du noyau soit négligeable;
- on vérifie le générateur pour s'assurer qu'il fournira les caractéristiques d'impulsions de tension spécifiées, la bobine de mesure étant remplacée par une résistance dont la valeur est approximativement égale à la valeur absolue de l'impédance de la bobine dans les conditions d'impulsions. La figure 6, page 76, représente une impulsion avec une distorsion exagérée dans le but de définir les paramètres applicables.

L'impulsion étant affichée sur l'oscillographe, on doit tracer en premier lieu une ligne (horizontale) joignant les zones de tension constante entre impulsions. On trace une ligne régulière, droite ou coudée en forme d'exponentielle, qui coïncide avec la plus grande partie du plateau de l'impulsion. L'intersection du prolongement de cette ligne avec le front d'impulsion définit l'amplitude d'impulsion  $U_m$ . On trace alors des parallèles à l'axe des temps à des ordonnées à -10%, +10%, +50%, +80% et +90% de  $U_m$ . On trace alors une droite entre le point où la courbe atteint pour la dernière fois 0,9  $U_m$  ou à défaut 0,8  $U_m$  si la décroissance est de l'ordre de 10% et celui où elle passe immédiatement après par 0,1  $U_m$ . C'est l'intersection de cette droite avec la ligne de plateau d'impulsion tracée ci-avant qui définit la limite entre le plateau et la descente.

\*Voir point 5) du paragraphe 11.2.5.

- 2) a precision resistor between the test coil and earth which causes a voltage drop not exceeding 1% of the nominal pulse amplitude and has negligible inductance.

c) *Recovery time*

For measurement with repeated pulses, the time constant of the measuring circuit shall be such that the recovery time is smaller than the interval between the pulses in order to ensure that the flux in the core returns to its initial value.

d) *Voltmeter*

When using the average voltmeter method, the voltmeter shall be a Class 1 instrument or better\* and the diode shall be so chosen that it introduces negligible error.

e) *Oscilloscope method*

When the oscilloscope method is used, the time constant of the voltage integrating circuit shall exceed 100 times the pulse duration or 100 times the effective time constant of the recovery, whichever is the greater, and its phase shift should be as small as possible.

Calibration facilities shall be provided for the display of voltage and current to obtain an overall accuracy of the measured pulse inductance factor better than 5%.

The connecting cables to the oscilloscope shall be of a low capacitance type (e.g. air insulated cables).

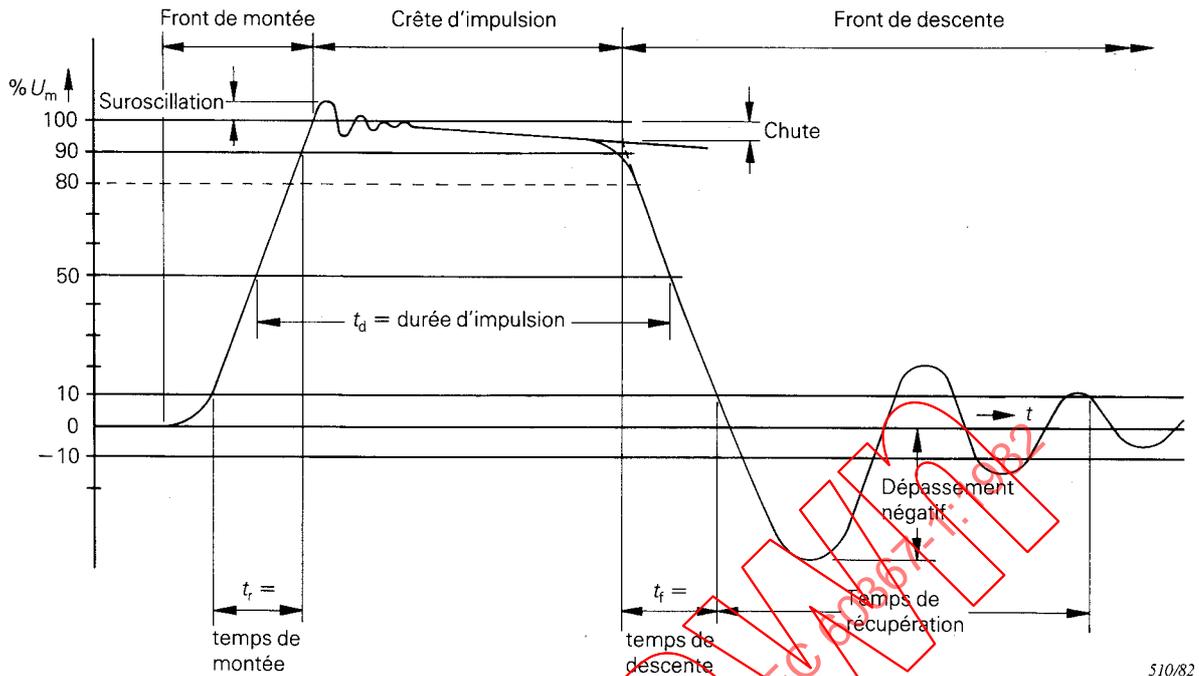
## 16.7 *Measuring procedure*

### 16.7.1 *General*

- a) The core to be measured is assembled with the measuring coil in accordance with Sub-clauses 4.3 and 7.2.
- b) For measurement with repeated pulses, the pulse repetition rate is so chosen that the self-heating of the coil and the core is negligible.
- c) The generator is checked to ensure that it will meet the specified voltage pulse characteristics, the measuring coil being replaced by a resistor which has a resistance approximately equal to the absolute value of the coil impedance under pulse conditions. Figure 6, page 77, shows a pulse with exaggerated distortion for the purpose of defining the relevant parameters.

In the pulse as displayed on the oscillograph, a straight line shall be drawn exactly coinciding with the steady voltage between pulses, and a straight line or a simple curve of the exponential type coinciding with most of the pulse top. The intersection of this latter line with the actual pulse leading edge gives the pulse amplitude  $U_m$ . Lines are drawn parallel to the time axis at  $-10\%$ ,  $+10\%$ ,  $+50\%$ ,  $+80\%$  and  $+90\%$  of  $U_m$ . A straight line is drawn through the points where the pulse reaches  $0.9 U_m$  for the last time and next reaches  $0.1 U_m$ ; when the droop is nearly  $10\%$  of  $U_m$ , however, the value of  $0.8 U_m$  shall be used instead of  $0.9 U_m$ . The intersection of this line with that drawn on the pulse top is the border between pulse top and trailing edge.

\*See Item 5) of Sub-clause 11.2.5.



510/82

Note. — Par souci de clarté pour l'illustration de la chute, les points à 80% et 10% ont été utilisés pour construire la droite délimitant le plateau de l'impulsion et sa descente.

FIG. 6. — Paramètre de l'impulsion de tension.

16.7.2 Mesure de l'inductance spécifique impulsionnelle et du courant magnétisant

a) Pour la mesure sans champ superposé, une bobine de mesure conforme au paragraphe 16.5 peut être utilisée. Pour la mesure avec champ superposé un enroulement additionnel ayant un nombre de spires spécifié doit être bobiné sur la bobine de mesure et relié à une source de courant continu à basse impédance de valeur telle que l'enroulement additionnel n'ait pas d'effet appréciable sur la valeur du courant circulant dans la bobine de mesure.

Lorsqu'on fait des mesures avec un champ superposé, le courant continu I<sub>b</sub> dans l'enroulement additionnel est réglé pour correspondre à la valeur spécifiée du champ superposé H<sub>0</sub>:

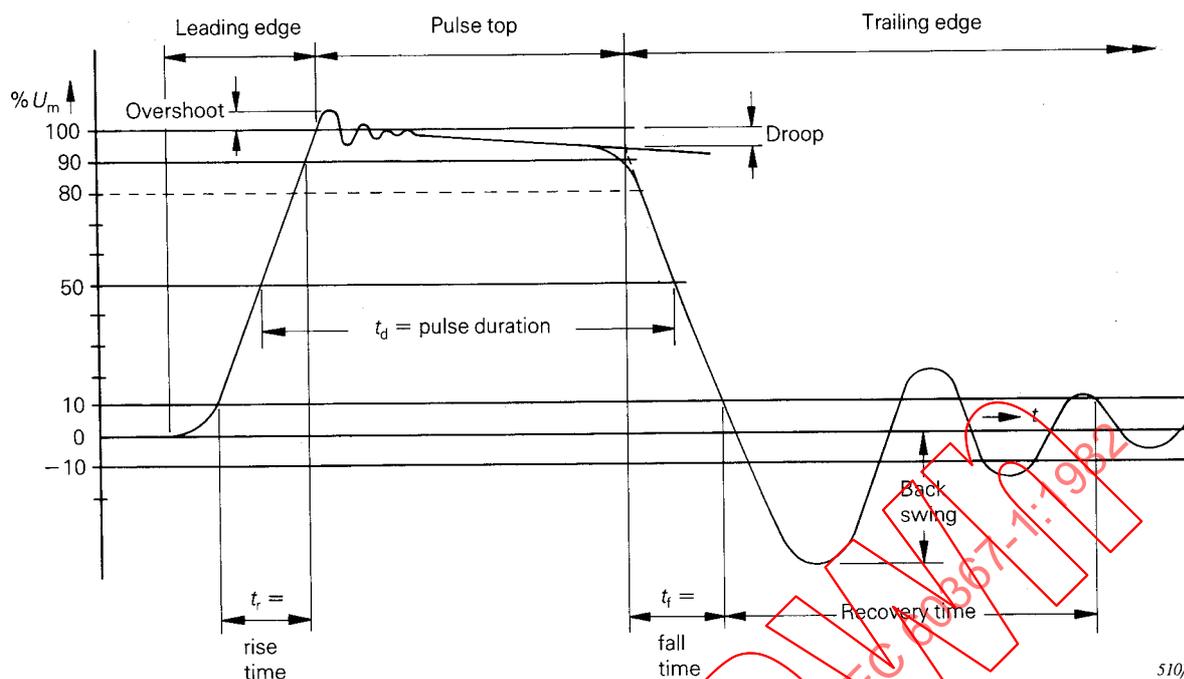
$$I_b = \frac{H_0 \cdot l_e}{N_b}$$

ou:

l<sub>e</sub> = longueur effective de la ligne magnétique du noyau  
 N<sub>b</sub> = nombre de spires de la bobine du champ superposé

Note. — On fait souvent référence aux ampères-tours superposés:

$$I_b N_b = H_0 \cdot l_e$$



510/82

Note. — For clarity in illustrating the droop, the 80% and 10% points have been used in constructing the line which determines the border between the pulse top and the trailing edge.

FIG. 6. — Voltage pulse parameters.

#### 16.7.2 Measurement of pulse inductance factor and magnetizing current

- a) For measurement without bias, a measuring coil conforming with Sub-clause 16.5 shall be used. For measurement with bias, an additional bias winding having a specified number of turns shall be wound over the measuring coil, and connected to a d.c. power supply through an impedance of such magnitude that the bias winding has no appreciable effect on the value of the current through the measuring coil.

When making measurements with a biasing field, the direct current  $I_b$  in the bias winding is adjusted to correspond to the specified value of the biasing field strength  $H_b$ :

$$I_b = \frac{H_b \cdot l_e}{N_b}$$

where:

$l_e$  = effective magnetic path length of the core

$N_b$  = number of turns of the bias winding of the measuring coil

Note. — Reference is often made to the biasing ampere-turns:

$$I_b N_b = H_b \cdot l_e$$

- b) Le circuit de mesure est réglé pour donner les caractéristiques d'impulsions de tension spécifiées y compris la durée de l'impulsion et le temps de récupération.

*Note.* — Lorsque la bobine est connectée au circuit de mesure, la forme des impulsions de tension pour la récupération exponentielle et linéaire apparaîtra comme sur la figure 7.

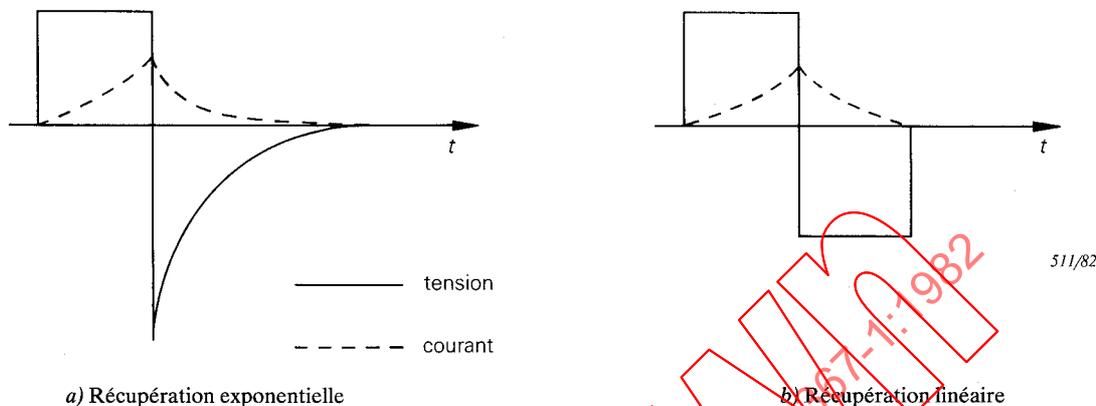


FIG. 7. — Formes d'ondes de mesures typiques.

On augmente alors l'amplitude de la tension d'impulsion appliquée, en maintenant les caractéristiques d'impulsions spécifiées pour donner une lecture sur le voltmètre à lecture moyenne ou sur l'oscilloscope correspondant à la variation de flux spécifiée  $\Delta\Phi$  dans le noyau, comme indiqué ci-dessous:

- pour des mesures avec des impulsions répétées  $u_{av} = N \cdot \Delta\Phi \cdot f_p$
- pour des mesures avec des impulsions isolées  $\int u dt = N \cdot \Delta\Phi$

où:

$N$  = nombre de spires de la bobine de mesure reliée au voltmètre ou à l'oscilloscope  
 $f_p$  = cadence de répétition des impulsions

Pour des mesures avec des impulsions répétées la forme de l'impulsion et la fréquence de répétition sont contrôlées et ajustées, si nécessaire, et la tension moyenne  $u_{av}$  et le courant magnétisant de crête  $i_m$  sont enregistrés.

Pour des mesures avec des impulsions isolées on photographie la courbe  $\int u dt$  en fonction de  $i_m$ , si possible en incluant les impulsions de tension étalonnée dans les deux coordonnées, et l'excursion totale de  $\int u dt$  et la variation correspondante du courant magnétisant sont enregistrées.

*Note.* — Une meilleure précision peut être obtenue quand on utilise une méthode à affichage numérique.

### 16.7.3 Mesure de la non-linéarité du courant magnétisant

Cette mesure est effectuée pour déterminer si la valeur exigée pour la non-linéarité du courant magnétisant n'est pas dépassée pour la limite du produit tension/temps spécifiée.

*Note.* — Des valeurs typiques de la non-linéarité se situent entre 1 et 1,5.

Des impulsions de tension répétées ou isolées sont appliquées à la bobine de mesure selon le paragraphe 16.7.2. Le courant magnétisant est affiché sur un oscilloscope en fonction du temps, la figure étant photographiée si nécessaire. On fait varier l'amplitude de l'impulsion de tension jusqu'à ce que le produit tension/temps soit égal à la valeur limite spécifiée et la non-linéarité du courant magnétisant à la fin de l'impulsion est déterminée (voir figure 8, page 80).

- b) The measuring circuit is adjusted to give the specified voltage pulse characteristics including pulse duration and recovery time.

*Note.* — With the coil connected in the measuring circuit, the voltage pulse waveform for exponential and linear recovery will appear typically as in Figure 7.

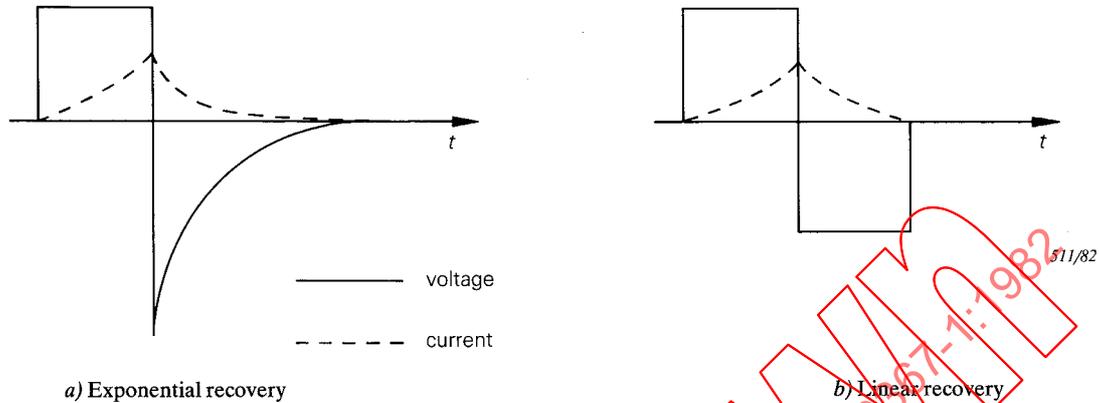


FIG. 7. — Typical measuring waveforms.

The applied pulse voltage amplitude is then increased, maintaining the specified pulse characteristics, to give a reading on the average reading voltmeter or on the oscilloscope corresponding to the specified flux change  $\Delta\Phi$  in the core as indicated below:

- for measurements with repeated pulses  $u_{av} = N \cdot \Delta\Phi \cdot f_p$
- for measurements with isolated pulses  $\int u dt = N \cdot \Delta\Phi$

where:

$N$  = number of turns of the measuring coil winding connected to the voltmeter or oscilloscope  
 $f_p$  = pulse repetition rate

For measurements with repeated pulses the pulse shape and repetition frequency are checked and adjusted when necessary, and the average voltage  $u_{av}$  and the peak magnetizing current  $i_m$  are recorded.

For measurement with isolated pulses the displayed loop of  $\int u dt$  vs.  $i_m$  is photographed, if possible in such a way that the calibration voltage pulses in both co-ordinates are included, and the total excursion of  $\int u dt$  and the corresponding variation of magnetizing current are recorded.

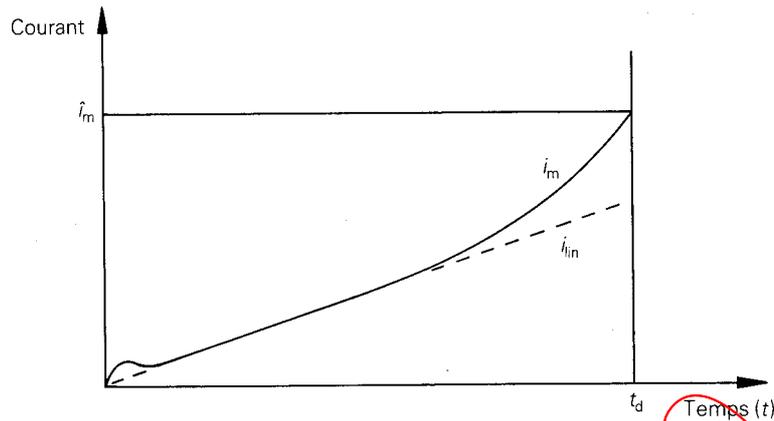
*Note.* — A better accuracy can be obtained when use is made of a digital processing method.

### 16.7.3 Measurement of the non-linearity of the magnetizing current

This measurement is made to determine that the claimed value of non-linearity of the magnetizing current is not exceeded at the specified voltage-time product limit.

*Note.* — Typical values of non-linearity lie between 1 and 1.5.

Voltage pulses, repeated or isolated, are applied to the measuring coil as in Sub-clause 16.7.2. The magnetizing current is displayed on an oscilloscope as a function of time, the display being photographed if necessary. The voltage pulse amplitude is varied until its voltage-time product equals the specified limit value and the non-linearity of the magnetizing current at the end of the pulse is determined (see Figure 8, page 81).



$$\text{Non-linéarité} = \frac{i_m}{i_{lin}} \text{ (voir paragraphe 16.2.9)}$$

FIG. 8. — Non-linéarité du courant magnétisant

### 16.8 Calcul

#### a) Inductance spécifique impulsionnelle

L'inductance spécifique impulsionnelle est calculée à partir d'une des formules suivantes:

$$A_{LP} = \frac{u_{av}}{f_p \cdot i_m \cdot N^2} \text{ ou } A_{LP} = \frac{\int u dt}{i_m \cdot N^2}$$

où:

$\int u dt$  = tension aux bornes de la bobine de mesure intégrée pendant la durée de l'impulsion (c'est-à-dire l'excursion totale)

$u_{av}$  = tension redressée moyenne (demi-alternance) aux bornes de la bobine de mesure

$f_p$  = fréquence de répétition des impulsions

$i_m$  = valeur crête du courant magnétisant

$N$  = nombre de spires de l'enroulement de la bobine de mesure branchée au voltmètre ou à l'oscilloscope

#### b) Non-linéarité du courant magnétisant

Dans la représentation du courant magnétisant en fonction du temps, enregistré comme indiqué au paragraphe 16.7.3, la portion linéaire de la courbe est extrapolée. Dans la figure 8 la courbe repérée  $i_m$  représente l'enregistrement original et la droite repérée  $i_{lin}$  représente la portion linéaire extrapolée.

La non-linéarité du courant magnétisant définie comme  $\frac{i_m}{i_{lin}}$  quand on la mesure au temps  $t_d$  ne doit pas dépasser la valeur spécifiée correspondant à la limite du produit tension/temps spécifié qui, dans les conditions de mesures décrites au paragraphe 16.7.3, est donné par:

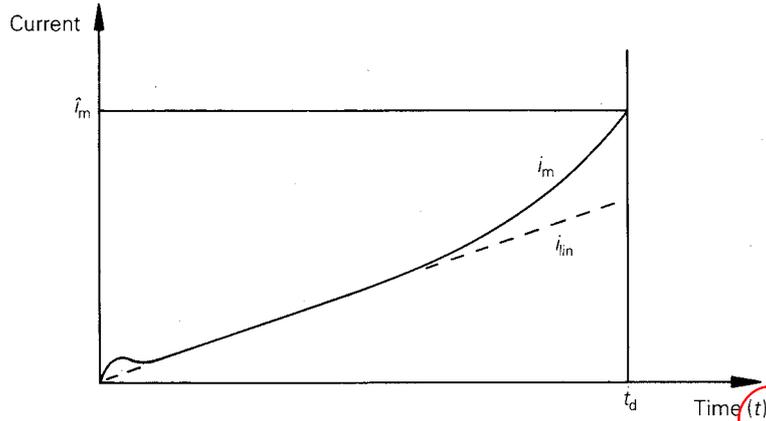
$$(U \cdot t)_{lim} = U_m \cdot t_d$$

#### c) Inductance spécifique impulsionnelle à la limite du produit tension/temps

L'inductance spécifique impulsionnelle correspondant à la valeur spécifiée de la limite du produit tension/temps est calculée à partir de l'expression:

$$A_{LP} = \frac{(U \cdot t)_{lim}}{i_m \cdot N^2} = \frac{U_m \cdot t_d}{i_m \cdot N^2}$$

où les symboles ont le sens donné ci-dessus et les valeurs de  $i_m$  et de  $U_m$  sont celles correspondant à la méthode du paragraphe 16.7.3.



$$\text{Non-linearity} = \frac{i_m}{i_{lin}} \quad (\text{see Sub-clause 16.2.9})$$

FIG. 8. – Non-linearity of magnetizing current.

## 16.8 Calculation

### a) Pulse inductance factor

The pulse inductance factor is calculated from one of the following expressions:

$$A_{LP} = \frac{u_{av}}{f_p \cdot i_m \cdot N^2} \quad \text{or} \quad A_{LP} = \frac{\int u dt}{i_m \cdot N^2}$$

where:

$\int u dt$  = voltage across the measuring coil integrated over the pulse duration  
(i.e. the total excursion)

$u_{av}$  = average (half-wave) rectified voltage across the measuring coil

$f_p$  = pulse repetition frequency

$i_m$  = peak value of the magnetizing current

$N$  = number of turns of the measuring coil winding connected to the voltmeter or oscilloscope

### b) Non-linearity of magnetizing current

In the graph of magnetizing current as a function of time, recorded as described in Sub-clause 16.7.3, the linear portion of the curve is extrapolated. In Figure 8 the curve labelled  $i_m$  shows the original graph and the line labelled  $i_{lin}$  shows the extrapolated linear portion of it.

The non-linearity of the magnetizing current, defined as  $\frac{i_m}{i_{lin}}$ , when measured at time  $t_d$  shall not exceed the specified value, corresponding to the specified voltage-time product limit, which for the conditions of measurement described in Sub-clause 16.7.3 is given by:

$$(U \cdot t)_{lim} = U_m \cdot t_d$$

### c) Pulse inductance factor at voltage-time product limit

The pulse inductance factor corresponding to the specified value of the voltage-time product limit is calculated from the expression:

$$A_{LP} = \frac{(U \cdot t)_{lim}}{i_m \cdot N^2} = \frac{U_m \cdot t_d}{i_m \cdot N^2}$$

where the symbols have the meanings given above and the values of  $i_m$  and  $U_m$  are those corresponding to the method of Sub-clause 16.7.3.

## 17. Perméabilité d'amplitude (effective)

### 17.1 *Objet*

Fournir une méthode pour la mesure de la perméabilité d'amplitude (effective) des noyaux magnétiques excités par une onde alternative symétrique, par exemple une onde sinusoïdale et d'amplitude telle que la perméabilité dépende du champ. En outre l'induction crête obtenue au champ spécifié peut être déterminée.

*Note.* – Puisque le noyau est en général de section non uniforme et qu'il est bobiné de façon non uniformément répartie, la mesure ne donne pas la perméabilité d'amplitude du matériau mais une perméabilité effective propre à l'amplitude spécifiée, c'est-à-dire la perméabilité d'amplitude (effective).

### 17.2 *Principe de la mesure*

Le champ et l'induction dans un noyau sont déterminés en mesurant respectivement la tension crête aux bornes d'une résistance en série avec la bobine de mesure bobinée sur le noyau, et la tension moyenne par demi-période aux bornes de cette bobine. Les mesures sont faites à la fréquence spécifiée et soit à une induction, soit à un champ spécifié.

### 17.3 *Echantillons*

Des noyaux prélevés dans la production normale et formant des circuits magnétiques complets sont utilisés pour la mesure. Quand le noyau complet comprend plus d'une pièce, par exemple pour les noyaux EC, les seuls entrefers permis sont les entrefers résiduels aux surfaces de contact.

### 17.4 *Bobine de mesure*

- 1) Il convient de spécifier le nombre de spires en relation avec les conditions de mesure, l'équipement utilisé et la précision à obtenir. La résistance et la capacité répartie de la bobine de mesure seront aussi faibles qu'il est nécessaire pour que l'erreur soit négligeable. La bobine de mesure sera placée aussi près que possible du noyau et répartie comme spécifié sur une ou plusieurs parties du noyau, la disposition du bobinage étant approximativement la même que dans l'application du noyau. Dans le cas d'un noyau toroïdal, les spires doivent être également réparties le long de la circonférence.
- 2) Quand la résistance de la bobine ne peut être rendue négligeable, si bien que la tension appliquée ne correspond pas à la f.é.m. avec une précision suffisante, on utilisera une bobine à deux enroulements séparés pour le courant et la tension. La bobine de tension aura une résistance beaucoup plus petite que l'impédance de l'instrument et sa capacité répartie sera assez petite pour rendre l'erreur négligeable. Le bobinage sera aussi près que possible du noyau et la bobine de courant doit recouvrir complètement la bobine de tension.

*Notes 1.* – Lorsqu'on fait le bobinage sur un noyau qui possède des arêtes vives, on prendra soin de s'assurer que l'isolant du fil n'est pas endommagé.

2. – Quand on utilise une bobine à deux enroulements, un écran électrostatique peut être souhaitable entre les deux bobinages.

### 17.5 *Equipement de mesure*

N'importe quel équipement de mesure convenable peut être utilisé. Des exemples de montages appropriés sont donnés dans l'annexe N.

La forme d'onde de la tension et du courant dans la bobine de mesure n'est pas critique en général. Si l'on veut maintenir la tension approximativement sinusoïdale, il est conseillé de faire en sorte que l'impédance du générateur et la résistance de mesure soient petites comparées à l'impédance de la bobine. Par contre une impédance de source élevée ou une forte valeur de la résistance de mesure

## 17. (Effective) Amplitude permeability

### 17.1 Object

To provide a method for the measurement of the (effective) amplitude permeability of magnetic cores energized by a symmetrical alternating waveform, e.g. a sine-wave, and of such amplitude that the permeability is dependent upon the field strength. Alternatively, the peak flux density obtained at specified peak field strength may be determined.

*Note.* — Since the core will in general be of non-uniform cross-section and will generally have a non-uniformly distributed winding, the measurement will not yield the amplitude permeability of the material but an effective permeability appropriate to the specified amplitude, i.e. the (effective) amplitude permeability.

### 17.2 Principle of the measurement

The field strength and flux density in a core are determined by measuring the peak voltage across a resistor in series with a measuring coil wound on the core, and the average voltage per half-period across that coil, respectively. The measurements are carried out at the specified frequency and either at a specified flux density or field strength.

### 17.3 Specimens

Cores taken from normal production and forming complete magnetic circuits shall be used for the measurement. When the complete core consists of more than one part, e.g. an EC core, the only air-gaps in the flux path shall be the residual air-gaps due to the contact surfaces.

### 17.4 Measuring coil

- 1) The number of turns should be specified in relation to the measuring conditions, the equipment used and the accuracy to be obtained. The resistance and self-capacitance of the measuring coil at the measuring frequency should be as low as is needed to make the error negligible. The measuring coil should be situated as closely as possible to, and uniformly along, the part or parts of the core as specified, the winding arrangement normally approximating to that used with the core in its application. In the case of a toroidal winding, the turns shall be evenly distributed around the circumference.
- 2) When the coil resistance cannot be made negligibly small, so that the applied voltage does not approximate to the e.m.f. with sufficient accuracy, then a double wound coil, with separate current and voltage windings, should be used. The voltage winding should have a resistance very much smaller than the impedance of the instrument and its self capacitance should be so small that there is negligible error due to that cause. It shall be wound as close to the core as possible, and the current winding shall completely cover the voltage winding.

*Notes 1.* — When winding a coil on to a sharp-edged core, care should be taken to ensure that the wire insulation is not ruptured.

2. — When a double wound coil is used, an electrostatic screen between the two windings may be desirable.

### 17.5 Measuring equipment

Any suitable equipment may be used. Examples of appropriate circuits are given in Appendix N.

The current and voltage waveforms at the measuring (current) coil are not generally critical. If it is wished to maintain the voltage waveform approximately sinusoidal then the generator impedance and measuring resistance should be small compared with the impedance of the coil. At the other extreme a high source impedance or high value of measuring resistance will facilitate an approximately sinusoidal

facilitera l'obtention d'un courant approximativement sinusoïdal. Le choix dépend principalement de la fréquence de mesure, une fréquence basse favorisant l'emploi d'une impédance et/ou une résistance élevées.

Les exigences suivantes doivent être satisfaites:

- 1) Pendant la durée de la mesure la variation de l'amplitude de la tension du générateur alternatif ne doit pas dépasser 0,5% et la variation de la fréquence ne doit pas dépasser 0,2%.
- 2) La tolérance sur la résistance de mesure ne doit pas dépasser 0,5%.
- 3) Les deux voltmètres doivent être des voltmètres alternatifs de la classe 1 à haute impédance et dont l'influence sur le circuit est négligeable.

La tension de crête aux bornes de la résistance de mesure doit être déterminée par l'un des deux moyens suivants:

- a) un voltmètre alternatif de crête;
- b) un voltmètre efficace ou à lecture moyenne en utilisant le facteur multiplicateur approprié. Dans ce cas on doit vérifier que la teneur en harmoniques de la tension aux bornes de la résistance de mesure est inférieure à 1%.

La tension moyenne aux bornes de la bobine de mesure (ou de l'enroulement tension dans le cas d'une bobine à deux enroulements) doit être mesurée avec un voltmètre à lecture moyenne.

*Note.* – Pour la signification de « voltmètre de classe 1 » voir la Publication 51 de la CEI.

- 4) Une température ambiante contrôlée doit être assurée, de manière à maintenir la température du noyau à la valeur spécifiée pendant la mesure.

#### 17.6 Procédé de mesure

- 1) Le noyau est assemblé avec la ou les bobines de mesures conformément aux paragraphes 4.3 et 7.2.
- 2) Quand la température du noyau est spécifiée, le noyau doit être placé dans un environnement à température contrôlée, conformément au point 4) du paragraphe 17.5. La mesure doit être effectuée aussi rapidement que possible, afin que l'échauffement propre de la bobine et du noyau soit négligeable.
- 3) Le générateur alternatif est réglé à la fréquence spécifiée et ajusté pour donner la valeur crête exigée de l'induction  $\hat{B}$  ou du champ  $\hat{H}$  dans le noyau comme indiqué par le voltmètre correspondant, selon les équations suivantes:

$$\hat{u} = R l_e \hat{H} / N_1 \quad \text{ou} \quad U_{av} = 4 f N_2 A \hat{B}$$

où:

- $\hat{u}$  = tension de crête aux bornes de la résistance série
- $U_{av}$  = tension moyenne aux bornes de la bobine de mesure (par demi-période)
- $R$  = résistance série
- $f$  = fréquence de mesure
- $N_1$  = nombre de spires de la bobine de mesure de courant
- $N_2$  = nombre de spires de la bobine de mesure de la tension
- (Quand on utilise un seul bobinage,  $N_1 = N_2 = N$ , le nombre de spires du bobinage unique.)
- $A$  = soit la section effective du noyau  $A_e$  ou la valeur nominale de la plus petite section  $A_{min}$ , selon ce qui est prescrit par la spécification.  
Toutes les dimensions utilisées pour calculer  $A_{min}$  doivent être les valeurs moyennes comprises entre les limites de tolérance citées sur le plan de pièces détachées approprié.
- $l_e$  = longueur effective du noyau

- 4) Les deux voltmètres sont lus dès que la tension a été réglée à la valeur correcte afin que l'augmentation de température de la bobine et celle du noyau soient négligeables.

current. The choice depends mainly upon the measuring frequency, a low frequency favouring the use of high impedance and/or resistance.

The following requirements shall be met:

- 1) During the period of measurement the voltage amplitude variation of the a.c. generator shall not exceed 0.5% and its frequency variation shall not exceed 0.2%.
- 2) The measuring resistor shall have a tolerance not exceeding 0.5%.
- 3) Both voltmeters shall be Class 1 high impedance a.c. voltmeters that have a negligible effect on the circuit.

The peak voltage across the measuring resistor shall be determined by one of the following:

- a) a peak responding a.c. voltmeter;
- b) an r.m.s. or average-reading voltmeter, using the appropriate multiplying factor. In this case it shall be verified that the harmonic content of the voltage across the measuring resistance is less than 1%.

The average voltage across the measuring coil (or the voltage winding, in the case of a double wound coil) shall be measured with an average responding voltmeter.

*Note.* – For the significance of “Class 1 voltmeter”, see IEC Publication 51.

- 4) A temperature-controlled environment shall be provided, capable of maintaining the core at the specified temperature during the measurement.

#### 17.6 Measuring procedure

- 1) The core is assembled with the measuring coil or coils in accordance with Sub-clauses 4.3 and 7.2.
- 2) When the temperature of the core is specified, it shall be placed in a temperature-controlled environment, in accordance with Item 4) of Sub-clause 17.5. The measurement shall be made as quickly as possible to ensure that the self-heating of the coil and core is negligible.
- 3) The a.c. generator is set to the specified frequency and adjusted to give the required value of peak flux density  $\hat{B}$  or of the peak field strength  $\hat{H}$  in the core as indicated by the appropriate voltmeter, according to the following equations:

$$\hat{u} = R l_e \hat{H} / N_1 \quad \text{or} \quad U_{av} = 4 f N_2 A \hat{B}$$

where:

$\hat{u}$  = peak voltage across the series resistor  
 $U_{av}$  = average voltage across the measuring coil (per half period)  
 $R$  = resistance of the series resistor  
 $f$  = measuring frequency

$N_1$  = number of turns on the current measuring coil

$N_2$  = number of turns on the voltage measuring coil

(When a single measuring coil is used,  $N_1 = N_2 = N$ , the number of turns on the single coil.)

$A$  = either the effective core area  $A_e$  or the nominal value of the smallest cross-section  $A_{min}$ , as required by the specification.

All the dimensions used to calculate  $A_{min}$  shall be the mean values between the tolerance limits quoted on the appropriate piece part drawing.

$l_e$  = effective core length

- 4) Both voltmeters are read as soon as the voltage has been adjusted to the correct value, in order that the self-heating of the coil and core is negligible.

- 5) Quand la spécification exige simplement que l'induction crête soit mesurée à un champ de crête spécifié, il est seulement nécessaire de régler la tension de crête aux bornes de la résistance série à la valeur appropriée et de lire la tension indiquée sur le voltmètre donnant la tension moyenne à partir de laquelle  $\hat{B}$  peut être calculée.

### 17.7 Calculs

La perméabilité d'amplitude effective est calculée à partir de:

$$(\mu_a)_e = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \hat{H}} = \frac{R \cdot l_e}{4 \mu_0 f N_1 N_2 A} \cdot \frac{U_{av}}{\hat{u}}$$

où:

$U_{av}$  = valeur lue sur le voltmètre à lecture moyenne

$\hat{u}$  = valeur lue sur le voltmètre de crête

et le reste des symboles étant défini dans le paragraphe 17.6, point 2).

Withdrawn  
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60367-1:1982

- 5) Where the specification simply requires the peak flux density to be measured at a specified peak field strength, then it is only necessary to set the peak voltage across the series resistor to the appropriate value and then to read the voltage indicated on the average-reading voltmeter, from which  $\hat{B}$  may be calculated.

### 17.7 Calculation

The effective amplitude permeability is derived from

$$(\mu_a)_e = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \hat{H}} = \frac{R \cdot I_e}{4 \mu_0 f N_1 N_2 A} \cdot \frac{U_{av}}{\hat{u}}$$

where:

$U_{av}$  = value read on the average voltmeter

$\hat{u}$  = value read on the peak voltmeter

and the remaining symbols are as defined in Sub-clause 17.6, Item 2).

Withdrawn  
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60367-1:1982

## ANNEXE A

## APPAREIL DE CONDITIONNEMENT MAGNÉTIQUE À DÉCHARGE DE CONDENSATEUR

## A1. Principe

Un condensateur est chargé à une tension donnée et déchargé dans une bobine d'inductance en série avec un enroulement d'essai placé ou bobiné sur le circuit magnétique à conditionner. Le condensateur, la bobine et l'enroulement du circuit magnétique et tout autre élément du circuit de décharge, par exemple contacts de relais et câblage, fixent le courant oscillant de décharge. Ce courant passe dans l'enroulement du circuit, efface son histoire magnétique et le soumet à une perturbation magnétique reproductible.

## A2. Caractéristiques principales

Les conditions suivantes se réfèrent au circuit complet de décharge, les bornes pour l'enroulement d'essai étant court-circuitées:

– Constante de temps:	$\tau$	<0,25 s.
– Fréquence du courant de décharge:	$f$	<150 Hz.
– Nombre de cycles pendant une période égale à la constante de temps:	$\tau f$	>4*.
– Tension de crête aux bornes du condensateur au maximum du réglage:		$\geq 200$ V.
– Crête maximale du courant de décharge au maximum du réglage:		$\geq 3$ A.

L'inductance et la résistance de l'enroulement du circuit magnétique doivent être telles que les caractéristiques du circuit de décharge ne dépassent pas les limites spécifiées ci-dessus.

## A3. Construction recommandée

Les composants suivants donnent des caractéristiques qui respectent les limites de l'article A2:

- bobine d'inductance de décharge d'environ 70 mH;
- condensateur de décharge d'environ 25  $\mu$ F.

La bobine d'inductance de décharge ne doit pas être saturée à la crête maximale du courant de décharge de 3 A et le condensateur doit être capable de fournir ce courant. Le relais de contrôle du circuit de décharge doit avoir des contacts à résistance basse et stable, par exemple un relais avec contacts à mercure.

Pour obtenir des résultats reproductibles, il est nécessaire de charger le condensateur avec une alimentation continue bien réglée. Les enroulements d'essai à utiliser pour le conditionnement magnétique avec cet appareil doivent être conçus de telle sorte que l'inductance d'un enroulement sur le circuit à conditionner ne dépasse pas 5 mH et que sa résistance ne dépasse pas 0,5  $\Omega$ .

Une borne de mesure sera prévue pour contrôler le courant de décharge dans l'enroulement du circuit magnétique. La résistance série introduite pour ce contrôle dans le circuit doit être la plus basse possible, par exemple 0,1  $\Omega$ .

L'appareil de conditionnement peut être commandé à distance, par exemple par un dispositif de chronométrage.

\* Cela correspond à un rapport maximal de 1,28 entre une crête du courant de décharge et la suivante dans la même direction.

## APPENDIX A

## APPARATUS FOR MAGNETIC CONDITIONING WITH CAPACITOR DISCHARGE

## A1. Principle

A capacitor is charged to a pre-set voltage and then discharged through an inductor in series with a test winding on the core to be conditioned. The capacitor and inductor together with the winding on the core and any other elements in the discharge circuit, e.g. relay contacts and wiring, determine the oscillatory discharge current. This current flows through the winding on the core obliterating its magnetic history and subjecting it to a reproducible magnetic disturbance.

## A2. Main characteristics

The following data refer to the complete discharge circuit with a short-circuit placed across the terminals of the test winding:

– Time constant:	$\tau$	<0.25 s.
– Frequency of discharge current:	$f$	<150 Hz.
– Number of cycles during time-constant period:	$\tau f$	>4*.
– Peak voltage across the capacitor terminals at maximum setting:		$\geq 200$ V.
– Highest peak discharge current at maximum setting:		$\geq 3$ A.

The inductance and resistance of the winding on the core shall be such that the characteristics of the discharge circuit remain within the limits specified above.

## A3. Suggested design

The following components will provide characteristics according to the limits of Clause A2:

- discharge inductor approximately 70 mH;
- discharge capacitor approximately 25  $\mu$ F.

The discharge inductor should not be saturated at the maximum peak discharge current of 3A and the capacitor should be capable of delivering this current. The discharge circuit control relay should have contacts providing low and stable resistance, e.g. a mercury wetted contact relay.

In order to obtain repeatable results, the capacitor should be charged from a closely regulated d.c. power supply. The test windings used for magnetic conditioning with this apparatus should be so designed that the inductance of a winding on the core to be conditioned does not exceed 5 mH and its resistance does not exceed 0.5  $\Omega$ .

A test terminal should be provided to monitor the discharge current through the winding on the core. The series resistance introduced in the discharge circuit for monitoring should be as low as possible, e.g. 0.1  $\Omega$ .

The conditioning device may be controlled remotely, e.g. by a timing device.

\*This corresponds to a maximum ratio, of one peak of the discharge current to the next in the same direction, of 1.28.

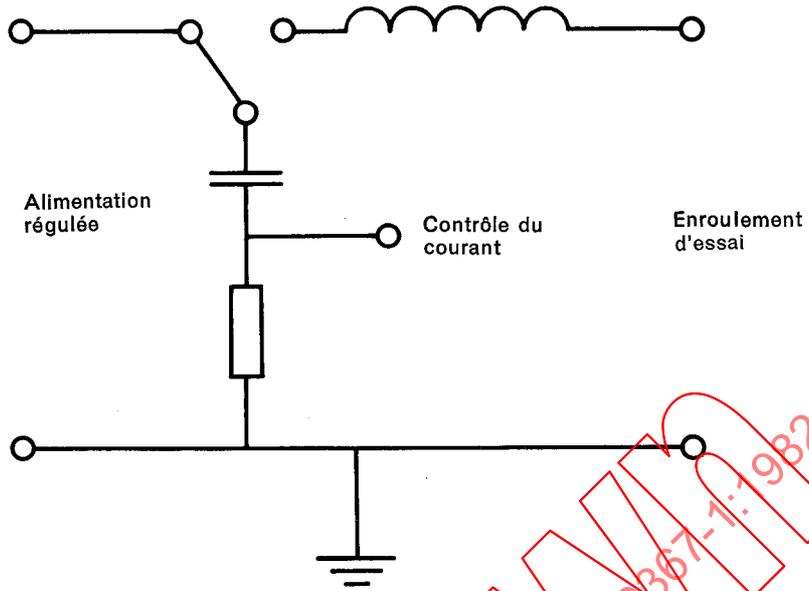


FIGURE A1

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60367-1:1982

Without watermark

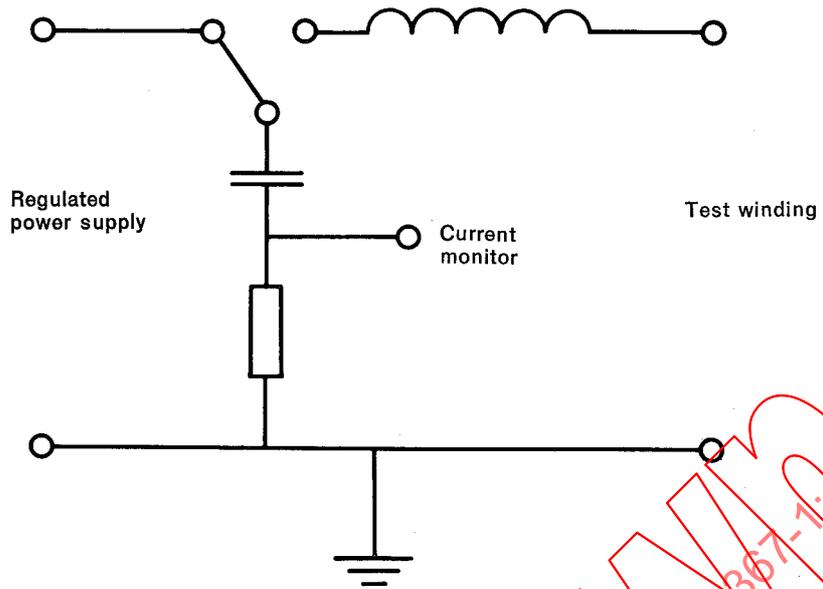


FIGURE A1

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60367-1:1982

Without watermark

## ANNEXE B

### AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE POUR LE CONDITIONNEMENT MAGNÉTIQUE

#### B1. Principe

Un générateur sinusoïdal fournit le signal d'entrée à l'amplificateur de puissance. Un circuit de commande de gain convenable est utilisé pour donner à l'amplitude de la sortie de l'amplificateur une variation dans un intervalle de temps de manière à obtenir un courant dans l'enroulement d'essai placé ou bobiné sur le circuit magnétique à conditionner de la fréquence voulue et de la variation requise de crête.

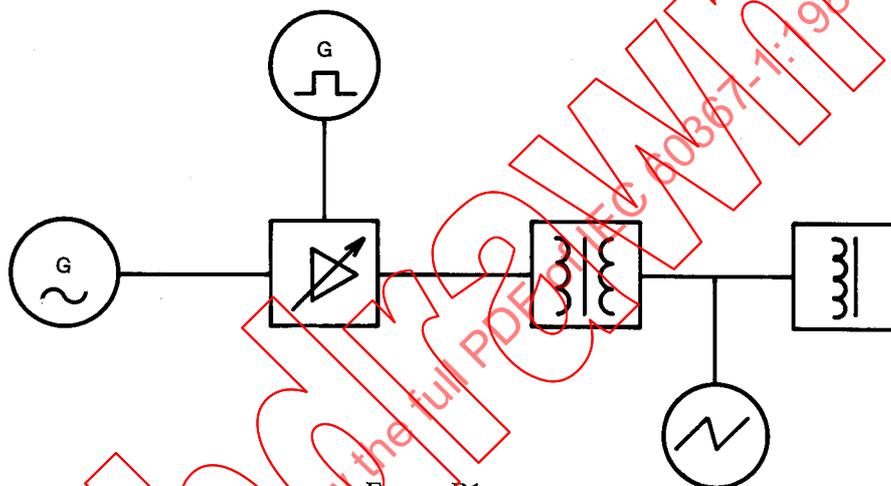


FIGURE B1

#### B2. Caractéristiques principales

Les conditions suivantes se réfèrent à l'amplificateur terminé à la résistance de sortie nominale:

- Fréquence du courant de sortie:  $f$  < 150 Hz.
- Puissance de sortie initiale:  $P$   $\geq$  20 W.
- Caractéristique d'impulsion de courant de sortie: linéaire ou exponentielle.

##### *Caractéristique linéaire*

- Nombre de cycles entre la sortie maximale et minimale:  $\eta$   $\geq$  50.

##### *Caractéristique exponentielle*

- Constante de temps:  $\tau$  < 0,25 s.
  - Nombre de cycles pendant une période égale à la constante de temps:  $\tau f$  > 4\*.
  - Distorsion à 20 W: < 3%.
  - Tension maximale de ronflement:
  - Tension maximale de bruit:
  - Tension maximale de sortie à gain minimal:
- } L'ensemble de ces tensions peut produire un maximum d'induction de 0,1 mT dans le circuit à conditionner.

L'amplificateur de puissance doit être couplé aux circuits magnétiques soumis à l'essai de sorte que le noyau puisse être saturé et que le courant traversant la bobine de mesure soit maintenu dans les limites requises.

\* Cela correspond à un rapport maximal de 1,28 entre une crête du courant de sortie et la suivante dans la même direction, conformément à l'annexe A.

## APPENDIX B

## POWER AMPLIFIER FOR MAGNETIC CONDITIONING

## B1. Principle

A sine-wave generator supplies the input signal to the power amplifier. A suitable gain control circuit is used to shape the amplitude of the amplifier output over a time interval so as to provide a current in the test winding on the core to be conditioned having the desired frequency and with a prescribed peak amplitude variation.

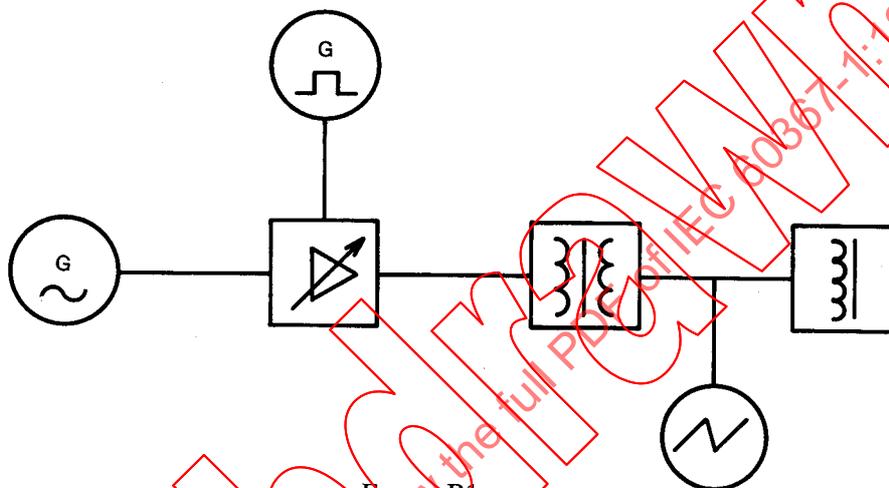


FIGURE B1

## B2. Main characteristics

The following data refer to the amplifier terminated with the nominal load resistance:

- Frequency of output current:  $f$  < 150 Hz.
- Initial output power:  $P$   $\geq$  20 W.
- Characteristic of output current pulse: linear or exponential.

*For linear characteristic*

- Number of cycles between maximum and minimum output:  $\eta$   $\geq$  50.

*For exponential characteristic*

- Time constant:  $\tau$  < 0.25 s.
- Number of cycles during time-constant period:  $\tau f$  > 4\*.
- Distortion at 20 W: < 3%.

- Maximum hum voltage: } The combination of these voltages may
- Maximum noise voltage: } cause a peak flux density of 0.1 mT in the
- Maximum output voltage at minimum gain: } core to be conditioned.

The power amplifier shall be coupled to the test core in such a way that the core can be driven into saturation and that the required envelope of the current in the test coil is maintained.

\*This corresponds to a maximum ratio, of one peak of the output current to the next in the same direction, of 1.28 and is in accordance with Appendix A.

### B3. Appareillage suggéré

L'appareillage est un exemple d'un assemblage d'essai pratique fonctionnant dans les limites de l'article B2.

#### B3.1 Générateur sinusoïdal

La limite inférieure de la gamme de fréquences ne doit pas être supérieure à 100 Hz et la sortie doit être suffisante pour alimenter l'amplificateur à 20 W de sortie. La distorsion à cette valeur ne doit pas dépasser 1%.

Le générateur doit être construit pour opération dissymétrique.

#### B3.2 Amplificateur de puissance

Les points à 3 dB de la caractéristique de fréquence doivent se trouver à l'extérieur de l'intervalle 70 Hz et 2 000 Hz. Lorsque l'amplificateur est fermé sur la résistance de sortie nominale et alimenté par une source sinusoïdale, la distorsion de la sortie à 20 W ne doit pas dépasser 2%.

L'impédance de sortie doit être faible (par exemple 16  $\Omega$ ).

#### B3.3 Transformateur d'adaptation

La puissance nominale ne doit pas être inférieure à 20 VA et les rapports d'impédance recommandés, qui peuvent être choisis au moyen d'un commutateur, pour le cas d'une impédance de sortie de l'amplificateur de 16  $\Omega$ , sont de:

16:1	16:6	16:20	16:60
16:3	16:10	16:35	16:100

Lorsque le transformateur est fermé sur une impédance correcte à la sortie et à l'entrée et lorsqu'il est alimenté par une source sinusoïdale, la distorsion à 20 W de sortie ne doit pas dépasser 1%.

#### B3.4 Commande de gain

Elle doit remplir les exigences du paragraphe 6.3, point 1) a) ou b) de la présente norme (voir aussi l'article B2).

La caractéristique de gain de l'amplificateur, en fonction du temps, peut être obtenue par des moyens mécaniques, tels qu'un potentiomètre ou par un circuit électronique. Ce dernier peut utiliser une impulsion de tension produite par une décharge de condensateur ou une résistance ou un dispositif à semi-conducteur présentant une variation de ses caractéristiques sous l'effet d'un éclair ou sous tout autre effet.

La commande de gain peut être commandée à distance, par exemple par un dispositif de chronométrage.

**B3. Suggested equipment**

The following is an example of a practical test set-up which will operate within the limits of Clause B2.

**B3.1 Sine-wave generator**

The lower limit of the frequency range shall be not higher than 100 Hz and the output shall be sufficient to drive the amplifier to 20 W output. At that value of the generator output, the distortion of the output shall not exceed 1%.

The generator shall be suitable for unbalanced operation.

**B3.2 Power amplifier**

The lower 3 dB point of the frequency characteristic shall lie at or below 70 Hz and the upper 3 dB point shall lie at or above 2 000 Hz. When terminated with the nominal load resistance and driven by a sinusoidal input, the distortion of the output at 20 W shall not exceed 2%.

The output impedance shall be low (e.g. 16  $\Omega$ ).

**B3.3 Matching transformer**

The power rating shall not be less than 20 VA and the recommended impedance ratios, selectable by a switch, for the case of an amplifier output impedance of 16  $\Omega$ , are:

16:1	16:6	16:20	16:60
16:3	16:10	16:35	16:100

When properly terminated at both sides and with sinusoidal input, the distortion at 20 W output shall not exceed 1%.

**B3.4 Gain control**

This shall meet the requirements of Sub-clause 6.3, Item 1) *a*) or *b*) of this standard (see also Clause B2).

The gain-time characteristic of the amplifier can be obtained by mechanical means such as a potentiometer, or by an electronic circuit. The latter can utilize a voltage pulse, e.g. generated by a capacitor discharge, or by a resistor or semiconductor device which will show a change in characteristic from a flash of light or other stimulus.

The gain control may be controlled remotely, e.g. by a timing device.

## ANNEXE C

### APPAREIL POUR LE CONDITIONNEMENT MAGNÉTIQUE BASÉ SUR LA MÉTHODE AVEC CHAMP ALTERNATIF

Le nombre de spires des enroulements, le courant dans les enroulements et les dimensions de l'entrefer doivent être choisis de sorte que le champ dans l'entrefer soit d'environ 25 kA/m. Habituellement, la fréquence est celle du réseau.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60367-1:1982  
Without2M

## APPENDIX C

### APPARATUS FOR MAGNETIC CONDITIONING BASED ON THE ALTERNATING FIELD METHOD

The number of turns of the windings, the current through them and the dimensions of the air-gap shall be so chosen as to obtain in the air-gap a field strength of approximately 25 kA/m. The frequency normally is power frequency.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60367-1:1982  
Withor2M

## ANNEXE D

### MÉTHODE THERMIQUE POUR LE CONDITIONNEMENT MAGNÉTIQUE

D1. Le circuit magnétique est placé dans une étuve et chauffé à une température supérieure d'environ 25°C au point de Curie, à une vitesse ne dépassant pas 2°C/min. Le circuit est maintenu à cette température au moins 30 min mais pas plus de 50 min.

*Note.* – Si le point de Curie est inconnu, l'inductance doit être surveillée pendant la période de chauffage ou le point de Curie doit être déterminé par un essai particulier.

D2. Le circuit est ensuite refroidi jusqu'à la température de mesure en un temps compris entre 1 h 30 et 2 h 30 et à une vitesse ne dépassant pas 5°C/min. Il est recommandé que pendant les dix dernières minutes précédant le temps de référence, la vitesse de refroidissement soit comprise entre 3°C/min et 5°C/min.

D3. Quand le circuit a atteint la température de mesure, on peut l'introduire dans une enceinte à température constante et l'y maintenir jusqu'au commencement des mesures. On doit, durant ce transfert, éviter les tensions mécaniques sur le matériau.

D4. Avant d'utiliser cette méthode, on doit s'assurer que le cycle thermique ne provoquera ni changements irréversibles dans le matériau du noyau, tels que ceux pouvant se produire dans les matériaux à cycle perminvar, ni effets secondaires d'amplitude significative sur l'isolation du fil ou les pièces d'assemblage.

Durant tout l'essai, le circuit doit être protégé contre les perturbations magnétiques.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF IEC 367-1:1982

## APPENDIX D

## THERMAL METHOD FOR MAGNETIC CONDITIONING

- D1. The core to be conditioned shall be introduced into a temperature chamber and heated to a temperature approximately 25°C above the Curie point, at a rate not exceeding 2°C/min. The core shall be kept at this temperature for not less than 30 min or more than 50 min.

*Note.* – When the Curie point is not known, the inductance shall be monitored during the heating period or the Curie point shall be determined by a separate test.

- D2. Subsequently, the core shall be allowed to cool down to the measurement temperature in not less than 1 h 30, or more than 2 h 30 at a rate not exceeding 5°C/min. It is recommended that during the last 10 min before the reference time is reached, the cooling rate shall be controlled between 3°C/min and 5°C/min.
- D3. When the core has cooled down to the measurement temperature, it may be introduced into an insulated constant temperature chamber and be kept there until the measurements are started. During this transfer, care shall be taken to avoid mechanical stresses in the material.
- D4. Before using this method, it shall be verified that, as a result of the heating cycle, the core material will not show irreversible changes (such as may occur in materials with constricted loop) and the wire insulation and mounting components will not show secondary effects of a significant magnitude.

During the whole procedure, the core shall be protected against magnetic disturbances.

---

## ANNEXE E

GUIDE POUR LA RÉALISATION DE BOBINES DE MESURES D'INDUCTANCE  
POUR LES NOUVEAUX TYPES DE NOYAUXE1. **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.

E2. **Guide pour les réalisations des bobines de mesures d'inductance**

E2.1 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 CEI : 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.

E2.2 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.

E2.3 Le diamètre du mandrin choisi en accord avec le paragraphe E2.2 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  $d_c$ .

E2.4 Le nombre de spires exigé doit être d'environ 100 et toutes les couches doivent être remplies pour assurer la symétrie.

E2.5 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 E2.2. 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.

E2.6 La valeur maximale du diamètre extérieur du bobinage  $d_{co}$  dépend du diamètre du mandrin, du nombre de couches, du diamètre maximal du fil choisi et de l'ovalisation inévitable qui est égale à 0,14 fois le diamètre total du fil pour un bobinage orthocyclique.

Cette valeur maximale ne doit pas dépasser le diamètre minimal du logement de bobinage du noyau en question moins 1,1 mm. Le diamètre extérieur, quand c'est possible, doit correspondre également à environ 80% de remplissage.

## APPENDIX E

GUIDE FOR THE DESIGN OF INDUCTANCE MEASURING COILS  
FOR NEWLY DEVELOPED TYPES OF CORES

## E1. Object

To give common design principles for inductance measuring coils for newly developed ferrite core types for use in transformers and inductors for telecommunications, which will enable the manufacturers developing these new core types to establish associated inductance measuring coils which will be generally acceptable and which will yield reproducible values of the inductance factor.

*Note.* – These principles still leave a certain amount to the discretion of the designer, but it is envisaged that the originator of the core design would propose the dimensions of the test coil in accordance with this guide and that these would be accepted as standard.

## E2. Guide for the design of inductance measuring coils

E2.1 The coil shall be wound as a mechanically self-supporting winding on a mandrel between flanges. The use of the so-called orthocyclic winding technique is recommended and the wire used shall be in accordance with IEC Publication 317-2: Specifications for Particular Types of Winding Wires, Part 2: Heat or Solvent Bonding Self-fluxing Enamelled Round Copper Wires.

*Note.* – It may sometimes be desirable to select a particular batch of wire from stock in order to reduce the tolerance on the diameter.

E2.2 The geometry of the test coil should correspond with that of the coils which are used in the normal production of inductors and transformers using this core, that is, its cross-section should be similar and take into account the normal coil former flange thickness and clearances appropriate to the particular core design.

E2.3 The diameter of the mandrel chosen in accordance with Sub-clause E2.2 shall have a tolerance of  $-0 +0.01$  mm. There is no further tolerance requirement on the inner diameter of the winding  $d_{ci}$ .

E2.4 The designed number of turns shall be about 100 and all layers shall be fully wound to ensure symmetry.

E2.5 The maximum value of the winding width  $h$  follows from the number of turns per layer and the maximum diameter of the wire chosen, and shall be in accordance with Sub-clause E2.2. From the maximum value so calculated, the nominal winding width shall be derived and the tolerance shall not exceed  $\pm 0.1$  mm.

E2.6 The maximum value of the outer diameter of the winding  $d_{co}$  follows from the mandrel diameter, the number of layers, the maximum diameter of the wire chosen and the unavoidable out-of-roundness which equals 0.14 times the overall wire diameter for an orthocyclic winding.

This maximum value shall not exceed the minimum winding chamber diameter of the core design in question minus 1.1 mm. Also, where possible, the outer diameter shall correspond approximately to 80% full copper winding.

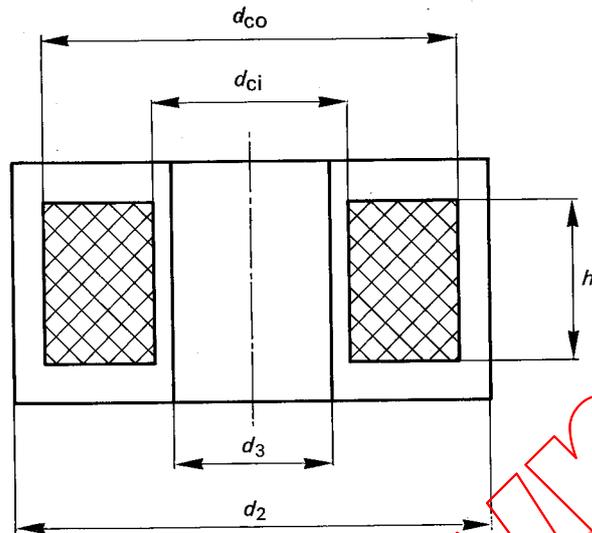


FIGURE E1

$$d_{co} \leq d_2 - 1,1 \text{ mm}$$

$$\text{en outre } d_{co} \approx d_3 + 0,8 (d_2 - d_3) = 0,8 d_2 + 0,2 d_3$$

où:

$d_{co}$  = diamètre extérieur du bobinage de cuivre  
 $d_2$  = diamètre minimal du logement de carcasse du noyau  
 $d_3$  = diamètre maximal de la jambe centrale du noyau

D'après la valeur ainsi calculée, on doit calculer la valeur du diamètre extérieur du fil. Sa tolérance, quand on néglige les arrondis de la carcasse, ne doit pas dépasser:

± 0,1 mm pour les petits noyaux  
 ± 0,3 mm pour les plus gros noyaux.

### E3. Exemple de calcul

Projet de bobine de mesure de RM 6. Les dimensions suivantes ont été déterminées sur la base de la carcasse de bobinage disponible:

diamètre du mandrin =  $7,3^{+0,01}_0$  mm

largeur maximale permise du bobinage = 7,1 mm

Pour les diamètres du noyau:

diamètre minimal du logement de la carcasse  $d_2 = 12,4$  mm

diamètre maximal de la jambe centrale  $d_3 = 6,4$  mm

Le diamètre extérieur  $d_{co}$  est calculé de la façon suivante:

maximum:  $12,4 - 1,1 = 11,3$  mm

80% de remplissage:  $(0,8 \times 12,4) + (0,2 \times 6,4) = 11,2$  mm

Le projet doit maintenant être complété pour différents diamètres de fil choisis; d'après les résultats, on peut choisir celui qui convient le mieux. Le reste de cet exemple indique le calcul du bobinage orthocyclique pour un diamètre de fil convenant le mieux:

diamètre du fil choisi: 0,315 mm; diamètre hors tout maximal: 0,357 mm

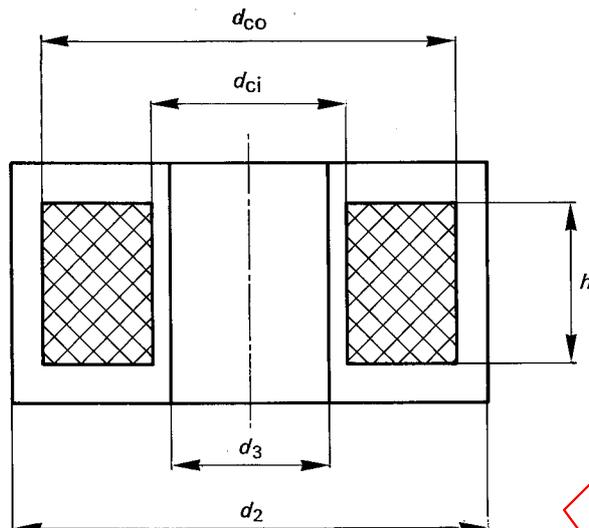


FIGURE E1

$$d_{co} \leq d_2 - 1.1 \text{ mm}$$

$$\text{furthermore } d_{co} \approx d_3 + 0.8 (d_2 - d_3) = 0.8 d_2 + 0.2 d_3$$

where:

$d_{co}$  = outer diameter of copper winding

$d_2$  = minimum inside chamber diameter of core

$d_3$  = maximum centre limb diameter of core

From the value so calculated, the outer copper diameter shall be derived. Its tolerance, neglecting the out-of-roundness of the coil, shall not exceed.

± 0.1 mm for the small cores

± 0.3 mm for the largest cores.

### E3. Example of calculation

Design of the RM 6 measuring coil. On the basis of the coil former available the following dimensions were determined:

mandrel diameter =  $7.3^{+0.01}_0$  mm

maximum permissible winding width = 7.1 mm

For the core diameters:

minimum inside chamber diameter  $d_2 = 12.4$  mm

maximum centre limb diameter  $d_3 = 6.4$  mm

The outer copper diameter  $d_{co}$  is derived as follows:

maximum:  $12.4 - 1.1 = 11.3$  mm

80% full:  $(0.8 \times 12.4) + (0.2 \times 6.4) = 11.2$  mm

The design has now to be completed for various chosen wire diameters and from these results, the most suitable one can be selected. The rest of this example shows the calculation of orthocyclic winding for the most suitable wire diameter:

wire diameter chosen: 0.315 mm; maximum overall diameter: 0.357 mm

Nombre de spires par couche  $7,1/0,357 =$  presque 20; le nombre approprié est alors de 19 et la largeur réelle du bobinage orthocyclique est de  $19,5 \times 0,357 = 6,96$  mm max. La largeur du bobinage est fixée à  $7_{-0,1}^0$  mm.

Diamètre extérieur maximal de la carcasse  $d_{co}$  (y compris les arrondis) =  $7,3 + 0,357 [2,14 + (n-1)\sqrt{3}]$ : le nombre de couches  $n$  étant dans ce cas de 6, il en résulte que  $d_{co} = 11,16$  mm max.; le diamètre extérieur de la carcasse est fixé à  $11,1 \pm 0,1$  mm.

Nombre de spires:  $N = (6 \times 19) - 1 = 113$ .

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60367-1:1982

Without watermark

Number of turns per layer:  $7.1/0.357 =$  nearly 20; the appropriate number then is 19 and the actual width for orthocyclic winding  $19.5 \times 0.357 = 6.96$  mm max. The winding width is fixed as  $7_{-0.1}^0$  mm.

Maximum outer copper diameter  $d_{co}$  (including out-of-roundness) =  $7.3 + 0.357 [2.14 + (n-1)\sqrt{3}]$ : the number of layers  $n$  being 6 in this case, it follows that  $d_{co} = 11.16$  mm max.; the outer copper diameter is fixed at  $11.1 \pm 0.1$  mm.

Number of turns:  $N = (6 \times 19) - 1 = 113$ .

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60367-1:1982  
Without2M

## ANNEXE F

## MÉTHODES D'EXPRESSION DE LA VARIATION EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

## F1. Principe

Plusieurs paramètres peuvent être utilisés pour décrire la variation de l'inductance ou de la perméabilité en fonction de la température. Le choix du paramètre est différent pour un noyau et pour un matériau.

Il y a trois méthodes pour spécifier la variation en fonction de la température pour un paramètre donné; elles se représentent par ordre de définition croissante par:

- i) la variation moyenne en fonction de la température (voir paragraphe F3.1);
- ii) les limites absolues de la variation en fonction de la température (voir paragraphe F3.2);
- iii) les limites de la pente (voir paragraphe F3.3).

## F2. Paramètres

Pour un *noyau*, le paramètre sera défini de la façon suivante:

$$p = \frac{L_{\theta} - L_{\text{ref}}}{L_{\text{ref}}} \quad \text{ou} \quad p = \frac{A_{L\theta} - A_{L\text{ref}}}{A_{L\text{ref}}}$$

où:

$L_{\theta}$  [ $A_{L\theta}$ ] = inductance [ou inductance spécifique] mesurée à n'importe quelle température  $\theta$   
 $L_{\text{ref}}$  [ $A_{L\text{ref}}$ ] = inductance [ou inductance spécifique] mesurée à la température de référence  $\theta_{\text{ref}}$

La pente de la tangente ou de la corde à la courbe donnant  $p$  en fonction de  $\theta$  représente le coefficient de température de l'inductance du noyau.

Pour un *matériau*, le paramètre sera défini comme:

$$p = \frac{\mu_{\theta} - \mu_{\text{ref}}}{\mu_{\theta} \mu_{\text{ref}}} = - \left( \frac{1}{\mu_{\theta}} - \frac{1}{\mu_{\text{ref}}} \right)$$

où:

$\mu_{\theta}$  = perméabilité relative (par exemple, perméabilité initiale) mesurée à une température quelconque  $\theta$   
 $\mu_{\text{ref}}$  = perméabilité correspondante mesurée à la température de référence  $\theta_{\text{ref}}$

La pente de la tangente ou de la corde à la courbe de  $p$  en fonction de  $\theta$  représente le facteur de température de la perméabilité du matériau comme défini au paragraphe F6.3, équation (8).

## F.3 Méthodes d'expression

## F3.1 Variation moyenne en fonction de la température

Dans cette méthode, la température de référence  $\theta_{\text{ref}}$  et les limites pour la valeur du paramètre à une température donnée  $\theta_1$  sont fixées en négligeant le comportement entre ces températures. Cette méthode est reconnue de pratique courante et convient quand la variation en fonction de la température n'a pas besoin d'être définie avec précision.

## APPENDIX F

## METHODS OF EXPRESSING TEMPERATURE DEPENDENCE

## F1. Principle

There are several possible parameters that may be used to describe the temperature dependence of the inductance or the permeability. The choice of the parameter for a core is different from that for a material.

There are three methods of specifying temperature dependence for a given parameter; these represent an increasing order of definition:

- i) mean temperature dependence (see Sub-clause F3.1);
- ii) absolute limits of temperature dependence (see Sub-clause F3.2);
- iii) limits of slope (see Sub-clause F3.3).

## F2. Parameters

For a *core*, the parameter shall be defined as:

$$p = \frac{L_{\theta} - L_{\text{ref}}}{L_{\text{ref}}} \quad \text{or} \quad p = \frac{A_{L\theta} - A_{L\text{ref}}}{A_{L\text{ref}}}$$

where:

$L_{\theta}$  [ $A_{L\theta}$ ] = self-inductance [specific inductance] measured at any temperature  $\theta$   
 $L_{\text{ref}}$  [ $A_{L\text{ref}}$ ] = self-inductance [specific inductance] measured at the reference temperature  $\theta_{\text{ref}}$

The slope of the tangent or chord to the curve giving  $p$  as a function of  $\theta$  represents the temperature coefficient of the core inductance.

For a *material*, the parameter shall be defined as:

$$p = \frac{\mu_{\theta} - \mu_{\text{ref}}}{\mu_{\theta} \mu_{\text{ref}}} = - \left( \frac{1}{\mu_{\theta}} - \frac{1}{\mu_{\text{ref}}} \right)$$

where:

$\mu_{\theta}$  = relative permeability (e.g. initial permeability) measured at any temperature  $\theta$   
 $\mu_{\text{ref}}$  = the corresponding permeability measured at the reference temperature  $\theta_{\text{ref}}$

The slope of the tangent or chord to the curve giving  $p$  as an function of  $\theta$ , represents the temperature factor of the material permeability, as defined in Sub-clause F6.3, equation (8).

## F.3 Methods of expression

## F3.1 Mean temperature dependence

In this method, the reference temperature  $\theta_{\text{ref}}$  and limits for the value of the parameter at a stated temperature  $\theta_1$  are fixed, neglecting the behaviour between these temperatures. This method recognizes current practice and is suitable where the temperature dependence need not be strictly defined.

Une limite supérieure  $u$  et une limite inférieure  $l$  sont spécifiées pour:

$$\frac{p_1}{\theta_1 - \theta_{\text{ref}}}$$

où:

$p_1$  est la valeur du paramètre correspondant à  $\theta_1 - \theta_{\text{ref}}$

Cette spécification peut être représentée graphiquement par trois points de la façon suivante:



Exemple de courbes possibles

FIGURE F1

*Note.* – Cette spécification peut être exprimée par une valeur nominale avec la tolérance, la température de référence et la température limite, par exemple:

- dans le cas d'un matériau: facteur de température moyenne  $(1 \pm 0,5) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  entre  $25^{\circ}\text{C}$  et  $70^{\circ}\text{C}$ ;
- dans les cas d'un noyau: coefficient de température moyenne  $(100 \pm 50) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  entre  $25^{\circ}\text{C}$  et  $70^{\circ}\text{C}$ .

### F3.2 Limites absolues de la variation en fonction de la température

En plus des limites spécifiées pour la variation moyenne en fonction de la température, dans cette méthode, des limites spécifiques s'appliquent au paramètre dans toute la gamme de températures entre la température de référence et la température limite. Cela procure une meilleure définition de la variation en fonction de la température dans une gamme de températures donnée.

En plus des limites du paragraphe F3.1, c'est-à-dire une limite supérieure  $u$  et une limite inférieure  $l$  pour  $\frac{p_1}{\theta_1 - \theta_{\text{ref}}}$ ,  $p$  doit être linéaire en fonction de  $\theta$  dans les limites d'une tolérance constante  $p_u - p_l$  dans la gamme de températures  $\theta_{\text{ref}}$  à  $\theta_1$ .

Mathématiquement, cette expression est représentée par:

$$p = \left( \frac{u+l}{2} \right) (\theta - \theta_{\text{ref}}) \pm \left( \frac{u-l}{2} \right) (\theta_1 - \theta_{\text{ref}})$$

Elle peut être représentée graphiquement par un point (à la température de référence) et par un parallélogramme de la façon suivante:

An upper limit  $u$  and a lower limit  $l$  are specified for:

$$\frac{p_1}{\theta_1 - \theta_{\text{ref}}}$$

where:

$p_1$  is the value of the parameter corresponding to  $\theta_1 - \theta_{\text{ref}}$

This specification may be represented graphically by three points as follows:

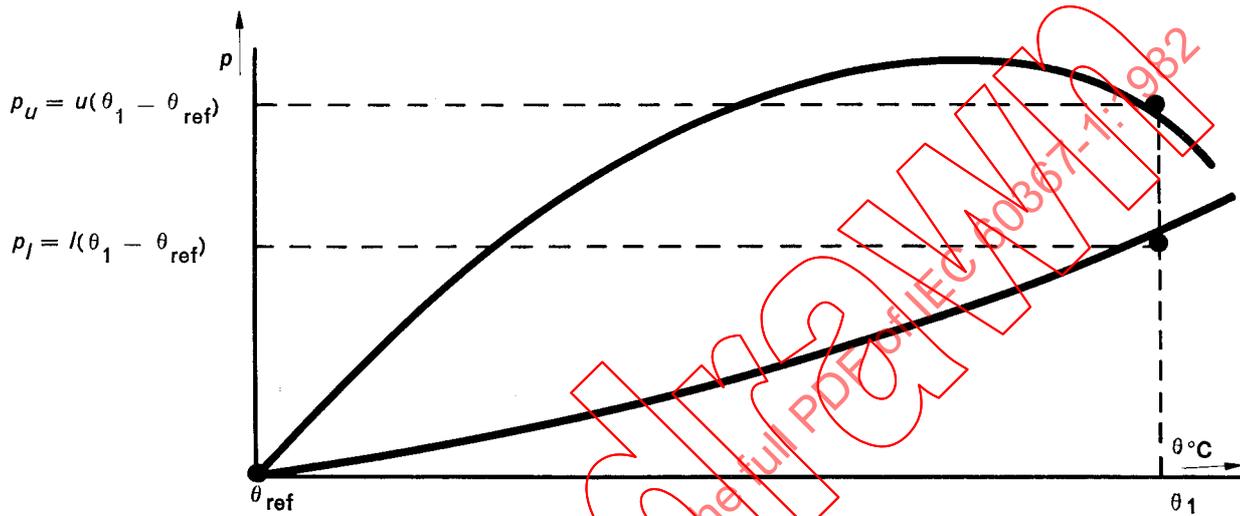


FIGURE F1

Note. — This specification may be expressed by a nominal value with tolerance, the reference and the limit temperatures, e.g.:

- in the case of a material: mean temperature factor  $(1 \pm 0.5) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  between  $25^{\circ}\text{C}$  and  $70^{\circ}\text{C}$ ;
- in the case of core: mean temperature coefficient  $(100 \pm 50) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  between  $25^{\circ}\text{C}$  and  $70^{\circ}\text{C}$ .

### F3.2 Absolute limits of temperature dependence

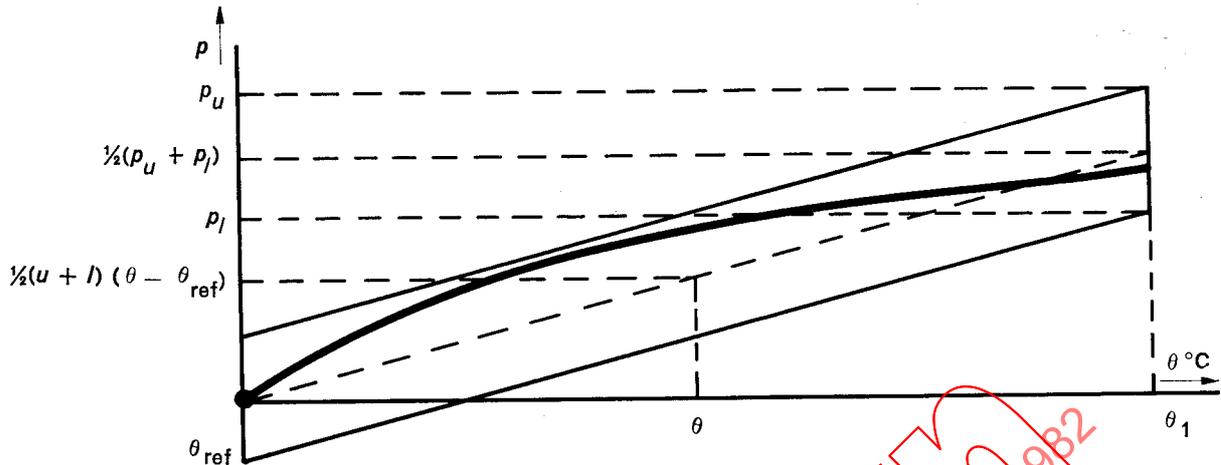
Apart from the limits specified for the mean temperature dependence, in this method, specific limits apply for the parameter over the temperature range between the reference and the limit temperatures. This provides a better definition of temperature dependence over a given temperature range.

In addition to the limits of Sub-clause F3.1, viz. an upper limit  $u$  and a lower limit  $l$  for  $\frac{p_1}{\theta_1 - \theta_{\text{ref}}}$ ,  $p$  shall be linear with  $\theta$  within a constant tolerance  $p_u - p_l$  over the temperature range  $\theta_{\text{ref}}$  to  $\theta_1$ .

Mathematically this expression is represented by:

$$p = \left( \frac{u+l}{2} \right) (\theta - \theta_{\text{ref}}) \pm \left( \frac{u-l}{2} \right) (\theta_1 - \theta_{\text{ref}})$$

It may be graphically represented by one point (at the reference temperature) and by a parallelogram as follows:



Exemple d'une courbe possible

FIGURE F2

*Note.* – Cette spécification peut être exprimée par une valeur nominale avec tolérance dans la gamme de températures, par exemple:

- dans le cas d'un matériau: limites absolues du facteur de température  $(1 \pm 0,5) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  dans la gamme de températures 25°C à 70°C;
- dans le cas d'un noyau: limites absolues du coefficient de température  $(100 \pm 50) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  dans la gamme de températures 25°C à 70°C.

Cette valeur nominale est égale à  $\frac{u+l}{2}$  et correspond au pointillé central du parallélogramme de la figure ci-dessus. La tolérance est de  $\pm \frac{u-l}{2}$ .

Dans quelques cas, par exemple lorsque la gamme de températures s'étend des deux côtés de la température de référence, on peut utiliser des tolérances asymétriques pour obtenir une zone de tolérance plus étroite.

Exemple: limites absolues du facteur de température  $(1,2 \begin{smallmatrix} +0,3 \\ -0,6 \end{smallmatrix}) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  dans la gamme de températures de 5°C à 70°C. Dans ce cas, la valeur nominale est utilisée comme base pour la construction du parallélogramme qui est alors asymétrique par rapport au point de référence.

### F3.3 Limites de la pente

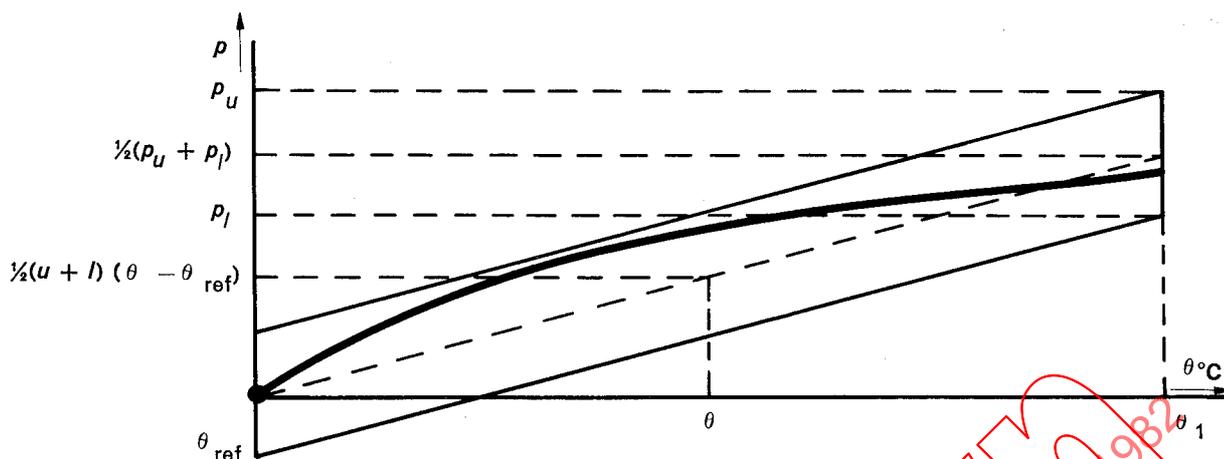
En plus des limites absolues sur  $p$  comme il est spécifié au paragraphe F3.2, on peut exiger d'ajouter des limites sur la pente de la courbe  $p - \theta$  mesurée à n'importe quel point de la courbe entre  $\theta_{\text{ref}}$  et  $\theta_1$  (par exemple, exiger que la pente de la courbe ne change pas de signe). Il peut être demandé une information plus poussée sur la forme, par exemple si la courbe est concave vers le haut (ou vers le bas).

### F4. Subdivision de la gamme de températures

Les règles ci-dessus peuvent être aussi appliquées à la gamme de températures s'étendant des deux côtés de la température de référence. Dans la représentation graphique, la première méthode conduit à cinq points, un à la température de référence et une paire à chaque température limite, chaque paire étant calculée comme il est indiqué au paragraphe F3.1.

Pour obtenir des limites de tolérance plus étroites, la gamme totale de températures peut cependant être subdivisée à la température de référence et des limites séparées peuvent être spécifiées pour chaque partie. Il peut même y avoir un plus grand nombre de subdivisions et des limites spécifiées pour chaque combinaison température de référence/température limite.

Par exemple, un noyau pourra être caractérisé par quatre parallélogrammes formant une zone intérieure et une zone extérieure, de la façon suivante:



Example of a possible curve

FIGURE F2

Note. — This specification may be expressed by a nominal value with tolerance over the temperature range, e.g.:

- in the case of a material: absolute limits for temperature factor  $(1 \pm 0.5) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  over the temperature range between  $25^{\circ}\text{C}$  and  $70^{\circ}\text{C}$ ;
- in the case of a core: absolute limits for temperature coefficient  $(100 \pm 50) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  over the temperature range between  $25^{\circ}\text{C}$  and  $70^{\circ}\text{C}$ .

This nominal value is equal to  $\frac{u+l}{2}$  and corresponds to the dotted centre line of the parallelogram in the above figure. The tolerance is  $\pm \frac{u-l}{2}$ .

In some cases, e.g. when the temperature range extends to both sides of the reference temperature, asymmetrical tolerances may be used to obtain a smaller tolerance zone.

Example: absolute limits for temperature factor within  $(1.2^{+0.3}_{-0.6}) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  over the temperature range between  $5^{\circ}\text{C}$  and  $70^{\circ}\text{C}$ . In that case, the nominal value is used as the basis for the construction of the parallelogram which then is asymmetrical with respect to the reference point.

### F3.3 Limits of slope

In addition to the absolute limits on  $p$  as specified in Sub-clause F3.2, it may be required to add limits on the slope of the  $p - \theta$  curve measured at any point on the curve between  $\theta_{\text{ref}}$  and  $\theta_1$  (e.g. to require that the curve shall not change sign). It may be desirable for further shape information to be given, e.g. that the curve is concave upwards (or downwards).

### F4. Sub-division of temperature range

The above rules may also be applied to temperature ranges extending to both sides of the reference temperature. In graphical representation, the first method then results in five points, one at reference temperature and a pair at each of the limit temperatures, each pair being calculated in exactly the same way as indicated in Sub-clause F3.1.

To obtain narrower tolerance limits, the total temperature range may however be sub-divided at the reference temperature and separate limits specified for each part. There may even be more sub-divisions and limits specified for each combination of reference temperature and limiting temperature.

For example, a core might be characterized by four parallelograms, forming an inner and outer zone as follows:

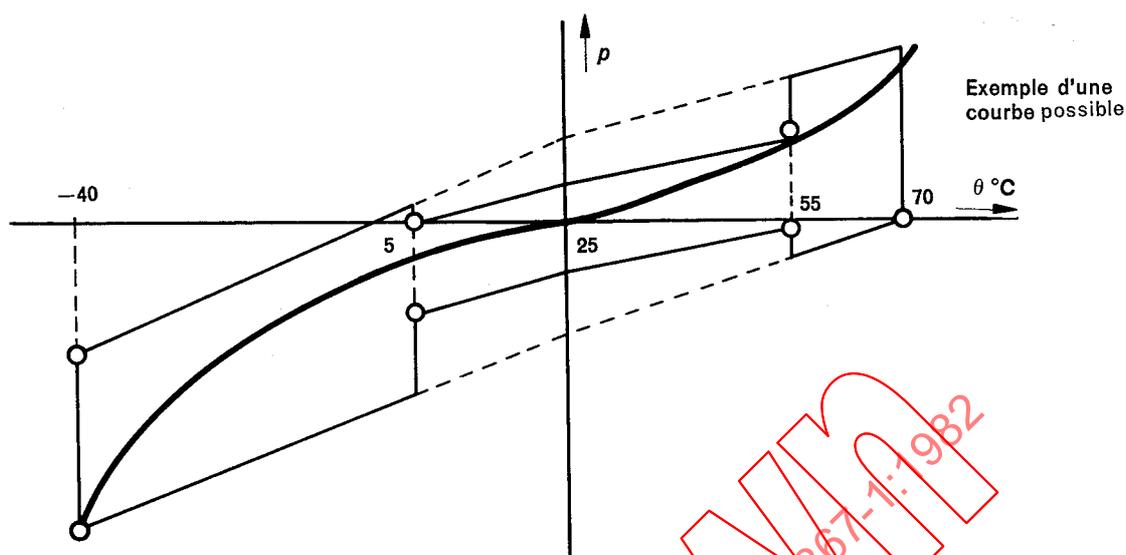


FIGURE F3

#### F5. Températures recommandées

La température de référence recommandée est de 25°C.

Les températures limites recommandées sont:

- 40°C;    - 25°C;    + 5°C;    + 55°C;    + 70°C

#### F6. Explication

F6.1 Le choix du paramètre  $p = \frac{\mu_\theta - \mu_{ref}}{\mu_\theta \mu_{ref}} = - \Delta \left( \frac{1}{\mu_r} \right)$ , pour l'expression de la variation de la perméabilité du matériau en fonction de la température, résulte des deux considérations suivantes:

- i) ce paramètre a une forme convenable pour exprimer la compensation du coefficient de température d'un condensateur linéaire dans un circuit accordé (voir paragraphe F6.2);
- ii) ce paramètre, quand il est déterminé avec un bobinage normal sur un noyau avec un entrefer minimal, permet le calcul théorique correct du coefficient de température d'un noyau à entrefer donnant une perméabilité effective particulière, dans la même gamme de températures (voir paragraphe F6.3).

F6.2 Il est exigé que le produit  $LC$  d'un circuit résonnant reste constant avec la température. Lorsque la capacité  $C$  varie de manière linéaire en fonction de la température, la condition demandée pour le noyau est que l'inverse de l'inductance varie de manière linéaire également.

L'inverse de l'inductance d'une bobine est proportionnelle à la réductivité effective du noyau (l'inverse de la perméabilité effective) et, pour une bobine bien étudiée, c'est le seul paramètre qui variera

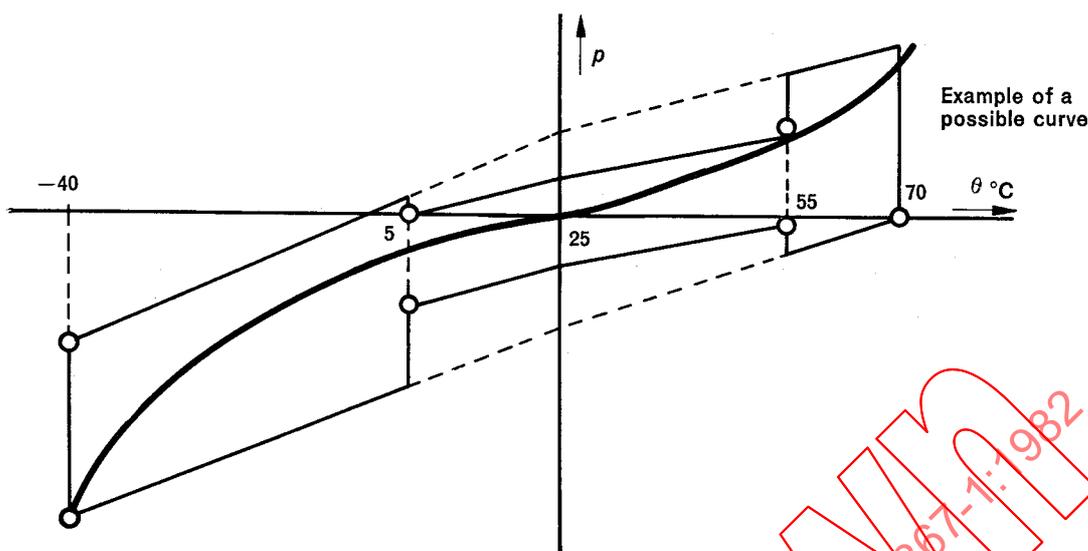


FIGURE F3

**F5. Standard temperatures**

The preferred reference temperature is 25°C.

Preferred limiting temperatures are:

− 40°C;    − 25°C;    + 5°C;    + 55°C;    + 70°C

**F6. Explanation**

F6.1 The choice of the parameter  $p = \frac{\mu_\theta - \mu_{\text{ref}}}{\mu_\theta \mu_{\text{ref}}} = -\Delta \left( \frac{1}{\mu_r} \right)$ , for the expression of the temperature dependence of the material permeability arises from two considerations:

- i) this parameter is of a form suitable for expressing compensation of the temperature coefficient of a linear capacitor in a tuned circuit (see Sub-clause F6.2);
- ii) this parameter, when determined with a normal winding on a core with minimum air-gap, permits the theoretically correct calculation of the temperature coefficient, over the same temperature range, of a core gapped to give a particular effective permeability (see Sub-clause F6.3).

F6.2 In a tuned circuit, it is required that the product  $LC$  should remain constant with temperature. Therefore, when  $C$  varies in a linear manner with temperature, the requirement for the core is that the inverse of inductance should vary in a linear manner also.

The inverse of the inductance of a coil is proportional to the effective reluctivity of the core (the inverse of effective permeability) and in a well-designed coil this is the only parameter that will vary

sensiblement en fonction de la température. Ainsi le coefficient de température de la réductivité  $\alpha_v$  doit être constant dans la gamme de températures à considérer. On peut exprimer  $\alpha_v$  par :

$$\alpha_v = \frac{\mu_{e\text{ref}} \Delta(1/\mu_e)}{\Delta\theta} \quad (1)$$

où :

$\mu_{e\text{ref}}$  est la perméabilité effective du noyau à la température de référence

Pour un noyau à entrefer produisant une perméabilité effective  $\mu_e$  à partir d'une perméabilité relative du matériau  $\mu_r$  :

$$\frac{1}{\mu_e} = \frac{\frac{1}{\mu_r} + \delta}{1 + \delta} \quad (2)$$

où :

$\delta$  est le rapport de la longueur de l'entrefer à la longueur magnétique à l'intérieur du matériau, sur la base de la surface effective de la section transversale (voir la Publication 205 de la CEI).

Dans la majorité des cas,  $(1 + \delta)$  est voisin de 1 de manière qu'on puisse constater avec une bonne précision que :

$$\Delta\left(\frac{1}{\mu_e}\right) = \Delta\left(\frac{1}{\mu_r}\right) = -p \quad (3)$$

alors :

$$\alpha_v = \mu_{e\text{ref}} \frac{\Delta\left(\frac{1}{\mu_r}\right)}{\Delta\theta} = -\mu_{e\text{ref}} \frac{p}{\Delta\theta} \quad (4)$$

Il résulte que le paramètre  $p$  devrait être linéaire en fonction de la température lorsque  $\alpha_v$  doit être indépendant de la température.

F6.3 Le coefficient de température de la perméabilité effective d'un noyau est :

$$\alpha_{\mu_e} = \frac{\Delta\mu_e}{\mu_{e\text{ref}} \Delta\theta} \quad (5)$$

Des équations (1) et (5), il peut facilement être démontré que :

$$\alpha_{\mu_e} = -\frac{\alpha_v}{1 + \alpha_v \Delta\theta} \quad (6)$$

Combiné avec (4) cela donne :

$$\alpha_{\mu_e} = \frac{p \mu_{e\text{ref}}}{\Delta\theta(1 - p \mu_{e\text{ref}})} \quad (7)$$

Cela démontre que  $p$  est aussi le paramètre correct pour calculer le coefficient de température de la perméabilité effective d'un noyau.

Lorsqu'on définit le facteur de température de la perméabilité de matériau comme :

$$\alpha_F = -\frac{\Delta\left(\frac{1}{\mu_r}\right)}{\Delta\theta} = \frac{p}{\Delta\theta} \quad (8)$$

appreciably with temperature. Hence the temperature coefficient of reluctivity  $\alpha_v$  is required to be a constant over the temperature range to be considered.  $\alpha_v$  may be expressed as:

$$\alpha_v = \frac{\mu_{e\text{ref}} \Delta(1/\mu_e)}{\Delta\theta} \quad (1)$$

where:

$\mu_{e\text{ref}}$  is the effective permeability of the core at reference temperature

In a gapped magnetic circuit producing an effective permeability  $\mu_e$  from a relative material permeability  $\mu_r$ :

$$\frac{1}{\mu_e} = \frac{\frac{1}{\mu_r} + \delta}{1 + \delta} \quad (2)$$

where:

$\delta$  is the ratio of air-gap length to the magnetic path length inside the material, on the basis of the effective cross-sectional area (see IEC Publication 205).

In most cases,  $(1 + \delta)$  is very closely equal to 1 so that to a close degree of approximation:

$$\Delta\left(\frac{1}{\mu_e}\right) = \Delta\left(\frac{1}{\mu_r}\right) = -p \quad (3)$$

so:

$$\alpha_v = \mu_{e\text{ref}} \frac{\Delta\left(\frac{1}{\mu_e}\right)}{\Delta\theta} = -\mu_{e\text{ref}} \frac{p}{\Delta\theta} \quad (4)$$

It follows that when  $\alpha_v$  is required to be independent of temperature, the parameter  $p$  should be linear with temperature.

F6.3 The temperature coefficient of the effective permeability of a core is:

$$\alpha_{\mu_e} = \frac{\Delta\mu_e}{\mu_{e\text{ref}} \Delta\theta} \quad (5)$$

From this and equation (1), it can easily be shown that:

$$\alpha_{\mu_e} = -\frac{\alpha_v}{1 + \alpha_v \Delta\theta} \quad (6)$$

Combining this with (4) results in:

$$\alpha_{\mu_e} = \frac{p \mu_{e\text{ref}}}{\Delta\theta(1 - p \mu_{e\text{ref}})} \quad (7)$$

This shows that  $p$  is also the correct parameter for the calculation of the temperature coefficient of the effective permeability of a core.

When the temperature factor of the material permeability is defined as:

$$\alpha_F = -\frac{\Delta\left(\frac{1}{\mu_r}\right)}{\Delta\theta} = \frac{p}{\Delta\theta} \quad (8)$$

l'équation (7) peut aussi être exprimée comme suit:

$$\alpha_{\mu_c} = \frac{\alpha_F \mu_{e\text{ref}}}{1 - \alpha_F \mu_{e\text{ref}} \Delta\theta} \quad (9)$$

Notes 1. — Lorsque  $\frac{\Delta L}{L}$  dans la gamme de températures considérée est petit (ce qui est normalement le cas pour les circuits accordés), le dénominateur du dernier terme de l'équation (9) est voisin de 1 et l'équation se réduit à:

$$\alpha_{\mu_c} = \alpha_F \mu_{e\text{ref}} = -\alpha_v$$

2. — On a utilisé aussi la définition suivante pour le facteur de température de la perméabilité:

$$\alpha'_F = \frac{\Delta \mu_r}{(\mu_{r\text{ref}})^2 \Delta\theta}$$

Puisqu'il n'est pas possible de déduire avec précision une relation entre le facteur de température ainsi défini et le coefficient de la perméabilité ou de la réductivité et que les approximations sont moins précises que pour le facteur de température défini dans l'équation (8) de cette annexe, l'utilisation de cette définition est à déconseiller.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60367-1:1982  
 WithDRAWN